



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

PEKKA HEIKKILÄ
TIETOMALLINNETUN MAASTOMITTAUSAINOSTON
INTEGROINTI POHJARAKENNUSSUUNNITTELUUN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
06.08.2018

TIIVISTELMÄ

PEKKA HEIKKILÄ: Tietomallinnetun maastomittausaineiston integrointi pohjarakennussuunnitteluun
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 66 sivua, 0 liitesivua
Lokakuu 2018
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Rakennesuunnittelu
Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja

Avainsanat: pohjarakentaminen, pintamalli, kairaus, pistepilvi, maastomalli, maaperämalli, tietomalli, BIM

Inframallintaminen (ifarakenteen tuotemallintaminen) on jo yleistä väylärakentamisessa ja yleistyy pohjarakentamisessa jatkuvasti. Tässä työssä tutkitaan inframallintamisen käyttöönottoa maanrakennusalan mittaus- ja rakennuskonsultin näkökulmasta. Työn tavoite on selvittää mitä vaatimuksia inframallipohjainen suunnittelu tuo konsultoivalle yritykselle ja miten mittaus- ja suunnittelutoimintaa pitäisi kehittää jatkossa.

Työ jakaantuu teoriaosuuteen ja kolmeen casetutkimukseen. Teoriaosuus esittelee inframallintamiselle oleellisia konsepteja, formaatteja ja ohjelmia sekä maastomittaukseen käytettyjä järjestelmiä. Kolme casetutkimusta käsittelevät maaperämalleja, maastomalleja ja pistepilviaineiston hyödyntämistä inframallintamisessa. Kussakin casetapauksessa tehdään yrityksen mittaus- ja suunnittelutoimeksianto uutta inframallipohjaista prosessia käyttäen. Koska alalla on vielä vähän vakiintuneita käytäntöjä inframallintamisen hyödyntämisestä, haasteita pyritään tunnistamaan sitä mukaan kun niihin törmätään ja niihin koitetaan löytää käyttökelpoiset ratkaisut. Samalla koitetaan tunnistaa ongelmat jotka vaativat jatkokehitystä konsulttitoimiston näkökulmasta.

Tutkimus osoittaa suunnittelukonsultin olevan vielä vaikeassa roolissa infrarakentamisen ollessa siirtymävaiheessa mallintamisen suhteen. Ilman tietomallipohjaisia lähtötietoja osasuunnittelussa ei saavuteta merkittävää tehoparannusta tietomallipohjaisilla menetelmillä. Asiakkaat haluavat vielä tuloksia hyvin erilaisissa muodoissa. Mallipohjainen suunnittelu tuo kuitenkin jo etua hyvin suurissa hankkeissa ja valmiuden toimia osana tulevaisuuden hankintaketjuja. Mallintava suunnittelu luo myös helpon pohjan koneohjausmallien luontiin. Inframallintamisen yleistyessä tulee yleisemmäksi että lähtötietoja on saatavilla mallipohjaisessa muodossa ja tilaajaosapuolet haluavat tulokset malleina. Maastomittajia pitäisi kouluttaa kirjaamaan mittauksensa oikein mallien luonnin helpottamiseksi. Tietomalliohjelmissa on korkea oppimiskynnys. Suunnittelua pitäisi tehdä määrätietoisesti ja hyvän dokumentoinnin ohjaamana työtapojen vakiinnuttamiseksi.

ABSTRACT

TOIMI KUNTA: Utilization of Information Modeling in Foundation Engineering Design

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 66 pages, 0 Appendix pages

October 2018

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Structural Engineering

Examiner: Professor Pauli Kolisoja

Keywords: foundation engineering, terrain model, soil model, boring, point cloud, BIM

Inframodeling (Infrastructure information modeling) is already common in road engineering and becoming increasingly common in foundation engineering. This thesis examines the utilization of inframodeling from the point of view of a survey and design consultant. The goal is to determine what requirements model-based design places on consulting designers and how survey and design practices should be developed in the future.

The thesis is divided into theoretical part and three case studies. The theoretical section examines concepts, formats and programs that are relevant for inframodeling. Different technologies for land and soil surveying are also examined. The three case studies concern ground layer models, terrain models and the use of point cloud data in inframodeling. In each case a survey and design commission is carried out utilizing new model-based processes. As there is still little established practice for the utilization of models in foundation engineering, challenges are detected as they arise and useable solutions are searched for. The main issues that require further development from the perspective of a consultancy office are identified.

The study indicates that foundation design consultants are still in a difficult position as the industry shift toward model-based design is still ongoing. Without model-based initial data there is no great efficiency benefit from using model-based design methods. Clients still require plans in various different forms. Model-based design does benefit very large projects and creates the readiness to act as a part of the production chains of future. Model-based design also creates an easy platform for the production of machine control models. As inframodeling becomes more common, it will become more likely for the initial data to be available in model-based forms and for clients to require plans as models. Surveyors should be educated on how to record their data in forms that translate easily into models. The learning curves of information modeling software are steep. Design should be carried out persistently and guided by a detailed code of practice so that new methods get integrated into operations.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty opinnäytteenä Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitokselle diplomi-insinöörin tutkintoa varten. Tutkimuksen toimeksiantaja on Taratest Oy. Työn ohjauksesta on vastannut Taratest Oy:n Vesa-Petri Helenius. Työn tarkastajana on toiminut professori Pauli Kolisoja Tampereen teknillisestä yliopistosta.

Tahdon kiittää erityisesti äitiäni Ailaa kärsivällisyydestä ja tuesta poikansa opiskelujen aikana.

Tampereella 18.10.2018

Pekka Heikkilä

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	TIETOMALLIEN PERUSTEET	3
2.1	Tietomallit yleisesti	3
2.1.1	Määritelmiä ja peruskäsitteitä	3
2.1.2	Mallit ja osamallit eri käyttötarkoituksiin	4
2.1.3	Kolmioverkko	6
2.1.4	Tietomalliselostus	8
2.1.5	Nimikkeistöt	10
2.2	Tiedostoformaatit	11
2.2.1	Natiiviformaatti ja yleisasioita	11
2.2.2	LandXML	12
2.2.3	Inframodel	13
2.2.4	IFC	13
2.2.5	IFC ja Inframodel-mallien yhteensopivuus	14
2.2.6	Muut tiedostoformaatit	15
2.2.7	Mittaustiedon ja mallien arkistoitavuus	16
2.3	Tekla Civil -ohjelmisto	17
2.4	Maastomalli	19
2.5	Maaperämalli	20
2.6	Pistepilvi	23
2.7	Koneohjausmalli	24
3.	LÄHTÖTIETOJEN HANKINTA	27
3.1	Pohjatutkimukset	27
3.2	Laserkeilaus	27
3.3	UAV-ilmakuvaus	29
3.4	Takymetrimittaus	30
4.	POHJARAKENNESUUNNITTELUN OMINAISPIIRTEET	32
4.1	Pohjarakentaminen	32
4.2	Erot väylä- ja pohjarakentamisessa	32
4.3	Pistepilvien käyttö pohjarakennesuunnittelussa	33
5.	CASE 1: MAAPERÄMALLI JA POHJATUTKIMUKSET	34
5.1	Toimeksiannon esittely	34
5.2	Toteutustapa ennen mallintamista	35
5.3	Tutkimusohjelma ja kairausten käsittely	35
5.4	Maaperämalli	38
5.5	Yhteenveto	44
6.	CASE 2: MAASTOMALLI	47
6.1	Toimeksiannon esittely	47
6.2	Toteutustapa ennen mallintamista	47

6.3	Mallintaminen	47
6.3.1	Korkeusmalli	47
6.3.2	Ympäristökohteet	49
6.4	Yhteenveto	50
7.	CASE 3: PISTEPILVEN HYÖDYNTÄMINEN SUUNNITTELUSSA.....	51
7.1	Toimeksiannon esittely	51
7.2	Mittausaineisto	51
7.2.1	UAV-ilmakuvaus	51
7.2.2	Maanmittauslaitoksen avoin pintamalliaineisto.....	54
7.2.3	Maastomittaukset	54
7.3	Toteutustapa ennen mallintamista	55
7.4	Mallintaminen	55
7.4.1	Koordinaattimuutokset.....	55
7.4.2	UAV-ortoilmakuva	55
7.4.3	Staattiset ja muokattavat pintamallit	56
7.4.4	Pistepilvien ja maastomittauksen yhdistäminen	58
7.4.5	Kartoituskuvan taittaminen	60
7.5	Yhteenveto	60
8.	YHTEENVETO	62
	LÄHTEET.....	65

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Geometrinen pallo ja sitä mukaileva kolmioverkko</i>	<i>6</i>
Kuva 2.	<i>Havainnekuva kolmioinnin suunnan vaikutuksesta pinnan topologiaan.....</i>	<i>8</i>
Kuva 3.	<i>YIV 2015 osa 2, Kuva 2. Standardien karkea tietosisältökartta.....</i>	<i>12</i>
Kuva 4.	<i>Havainnekuva risteävistä maalajirajapinnoista, leikkaus</i>	<i>21</i>
Kuva 5.	<i>Havainnekuva havaintopisteen ylittävistä kolmioinnista, leikkaus</i>	<i>22</i>
Kuva 6.	<i>Kuvaruukaappaus Novatronin LandNova 14.1 koneohjausjärjestelmäsimulaattorista.....</i>	<i>25</i>
Kuva 7.	<i>Leican maalaserkeilain kolmijalalla</i>	<i>29</i>
Kuva 8.	<i>Kanjonin koulun pohjatutkimukset ja maanpintamallin kolmioverkko.....</i>	<i>34</i>
Kuva 9.	<i>Porakonekairaukset ja kalliopinnan kolmioverkko.</i>	<i>39</i>
Kuva 10.	<i>Havainnekuva. Reunan moreeni kolmioituu kallion lävitse. Jälkimmäisessä moreenin YP nostettu kallion tasolle.....</i>	<i>42</i>
Kuva 11.	<i>Tontin kartoitusdatan visualisointia, korkeusmalli ja kartoitustieto.....</i>	<i>48</i>
Kuva 12.	<i>UAV-kuvauskohtien lentosuunnitelma. Ympyrät edustavat valokuvauskohtia ja keltainen korostus kuvissa näkyvää aluetta.....</i>	<i>52</i>
Kuva 13.	<i>Maalattu kiintopiste kuvauskohtien näkemänä. Pieni osa kuvaa.</i>	<i>53</i>
Kuva 14.	<i>Rinnakkain Maanmittauslaitoksen ja UAV-kopterin ortokuvat</i>	<i>56</i>
Kuva 15.	<i>Pengermallin hahmottamista korkeuskäyrillä. Taustalla ortokuva.</i>	<i>59</i>
Kuva 16.	<i>UAV-kartoituksen kolmioituminen luiskan alareunaviivan kautta Maanmittauslaitoksen pintamalliin</i>	<i>60</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

3D-Win	Suomessa yleinen 3D-Systemin kehittämä ohjelmisto maastomittaustiedon käsittelyyn
BIM	Building Information Model, rakennusten tietomallin yleisluontoinen nimi
CAD	Computer-aided design, yleistermi tietokoneavusteiselle suunnittelulle
DWG	Drawing, suljettu tiedostomuoto kaksi- ja kolmiulotteisen suunnittelutiedon siirtoon
DXF	Drawing Exchange Format, avoin tiedostomuoto kaksi- ja kolmiulotteisen suunnittelutiedon siirtoon
EPSG	European Petroleum Survey Group, nykyään OGP Geomatics Committee, kokoelma ja tunnistejärjestelmä eri koordinaattijärjestelmille
ETRS-GKn	Kiinteistömittauksissa käytettävä tarkempi tasokoordinaattijärjestelmä jonka keskimeridiaani valitaan lähimmän meridiaanin mukaan
ETRS-TM35FIN	Suomen julkisen hallinnon käyttämä tasokoordinaattijärjestelmä jonka keskimeridiaani on 27 astetta
ETRS89	European Terrestrial Reference System, yleiseurooppalainen koordinaattijärjestelmä
GNSS	Global Navigation Satellite System, yleisnimitys globaalille satelliittipainannukselle
GPS	Global Positioning System, Yhdysvaltalainen Navstar GPS satelliittipaikannusjärjestelmä
IFC	Industry Foundational Classes, kansainvälinen standardi rakentamisen tuotetietojen siirtoon ja yhteiskäyttöön
ISO	International Organisation for Standardisation, kansainvälinen standardointijärjestö
ISO STEP	ISO 10303 Standard for the Exchange of Product model data, joukko standardeja teollisuuden tuotetietojen siirtämiseen
InfraBIM	Built Environment Information Model, englanninkielisessä asiayhteydessä käytetty, koko rakennetun ympäristön tietomalli, sekä inframalli että liittyvät rakenteet
Inframodel	buildingSMART Finlandin julkaisema tiedostomuoto kotimaiseen inframallien jakamiseen
PNG	Portable Network Graphics, avoin häviötön tiedostomuoto bittikarttagrafiikan tallentamiseen
SGY	Suomen Geoteknillinen Yhdistys
UAV	Unmanned Aerial Vehicle, lentävä miehittämätön ilma-alus
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
XML	eXtensible Markup Language, yleinen kieli tietojen tallentamiseksi tietokonesovelluksissa
YIV	Yleiset Inframallivaatimukset, buildingSMART Finlandin julkaisemat yleiset vaatimukset inframallintamiseen

1. JOHDANTO

Tietomallipohjainen tuotanto on yleistynyt rakentamisessa merkittävästi viime vuosina. Tietomallien käyttö rakennesuunnittelussa on jo yleistä ja käyttö infrarakentamisessa lisääntyy jatkuvasti. Menetelmällä tavoitellaan etuja lopputuotteen laatuun, suunnittelun ja toteutuksen työtehoon sekä hankkeen tiedonkulkuun. Yhä useammin suurissa infrarakennuskohteissa vaaditaan hankkeen eri osapuolilta valmiutta työskennellä tietomallipohjaisesti.

Työn tarkoitus on perehtyä tietomallien hyödyntämiseen pohjarakennuskohteita suunnittelevan konsulttitoimiston näkökulmasta. Tietomalleja hyödynnetään jo yleisesti suurissa väylä- ja yhdyskuntarakentamishankkeissa. Käytännön pohjarakennuskohteissa tilattujen suunnitelmien laajuus kuitenkin vaihtelee suuresti. Yksittäiseen kohteeseen voidaan tehdä lukuisia suunnitelmia ja määrälaskelmia projektin eri vaiheissa tai tilaajaa voi tarvita vain yhden suunnitelman, jonka raportiksi riittää 2D-tuloste. Tällaiseen projektiin voi kuitenkin tulla myöhemmin lisä- ja muutostyötä. Inframallintamisen ohjelmistot ja InfraBIM-nimikkeistö eivät ole suunniteltu ensisijaisesti pohjarakentamisen tarpeisiin. Kiinnostavaa onkin, onko tietomallipohjainen suunnittelu raskaampaa kohteissa, joissa perinteisten suunnitelmien tuottaminen on kevyttä ja siihen löytyy pitkään kehittyneet rutiinit. Vanhoista suunnittelutyökaluista ei myöskään päästä nykytilassa täysin luopumaan. Jos tietomallien käyttö lisää työtaakkaa pienissä suunnittelutoimeksiannoissa, saavutetaanko tietomallien yleisellä hyödyntämisellä kuitenkin käytön oikeuttavia etuja?

Taratest Oy on Pirkkalassa sijaitseva, vuonna 1978 perustettu infrarakentamiseen erikoistunut suunnittelutoimisto, joka tekee erilaisia mittauksia ja suunnittelutyötä asiakkaidensa tarpeisiin. Mittauksista yleisimpiä ovat pohjatutkimukset sekä erilaiset maastomittaukset kuten pistemittaus, laserkeilaus ja stereokuvantaminen. Jokainen mittaustyyppi tuottaa omantyyppistään tietoa, mitä käytetään yhdessä kohteen lähtötietojen kanssa suunnitteluprosessissa. Yleisimpiä tuotettuja suunnitelmia ovat rakennettavuusselvitys, perustamistapasuositus ja maanrakennustyöselitys. Yritys teki päätöksen tietomallien käyttöönotosta 2017 lopulla, ja käyttöönoton on määrä tapahtua tämän opinnäytetyön kirjoittamisen ohessa. Tekla Civil –ohjelmisto valittiin hankintojen yhteydessä.

Diplomityö on jaettu teoriaosuuteen, missä tutustutaan tietomalleihin ja niiden käyttöön yleisemmällä tasolla, sekä case-tutkimukseen. Teoriaosuudessa tutustutaan infrarakentamisessa käytettyjen tietomallien nykytilaan, verrataan väylä- ja pohjarakennuskohteiden eroja ja eritellään pohjarakennesuunnittelun erityispiirteitä.

Lisäksi käydään läpi yleisesti käytetyt tiedostomuodot, nimeämis- ja raportointikäytännöt sekä yleiset tietomallivaatimukset. Osiossa tutustutaan myös koneohjausmalleihin ja näiden yhteyteen tietomalleihin.

Case-tutkimuksen kautta tutustutaan tietomallien hyödyntämisen nykytilaan tietyn yrityksen ja ohjelmistoympäristön kautta. Työssä tedään case-tutkimus kolmesta rajatusta perustapauksesta, jotka edustavat yleisiä toimeksiantoja tai niiden välttämättömiä osia. Erikseen tutustutaan tietomallipohjaisen maastomallin luontiin kenttätutkimuksista, maaperämallin luontiin pohjatutkimuksista ja pistepilvien käyttöön suunnitteluprosessin apuvälineenä. Yrityksellä on vahva osaaminen töiden toteuttamiseksi perinteisellä prosessilla. Eri toteutuksia verratessa kiinnitetään erityistä huomiota työmäärään, tuotettujen suunnitelmien laadullisiin eroihin sekä menetelmän vaikutukseen muutostöiden suorittamisessa ja osapuolten välisessä tiedonsiirrossa. Jatkuva riippuvuus vanhoista suunnittelutyökaluista on myös keskeinen kysymys. Käytännössä tutkimuskohteita tarkastellaan useammasta projektista saadun tiedon valossa.

Tietomallien hyödyntämisen tila on jatkuvassa muutoksessa. Kerätyn tiedon perusteella on tarkoitus pystyä muodostamaan kuva tietomallien hyödyntämisen nykytilasta pohjarakentamisessa. Vertailun pohjalta pyritään tunnistamaan suurimmat haasteet sekä ehdottamaan kehitysideoita niiden ratkaisemiseen. Havaittujen etujen maksimoimiseksi koitetaan tunnistaa hyviä toimintatapoja ja kehityslinjoja.

2. TIETOMALLIEN PERUSTEET

Tietomallinnus on käsitteenä hyvin laaja. Tietomallinnusta voidaan käyttää useissa rooleissa koko hankkeen elinkaressa. Osasuunnittelussa voidaan myös käyttää erillisiä tuotemalleja. Eri tekniikkalajien suunnittelu voi vaatia eri suunnittelujärjestelmän. Tässä käsitellyt aiheet on rajattu sen mukaan mikä on työn aikana osoittautunut suunnittelukonsultin näkökulmasta olennaiseksi.

2.1 Tietomallit yleisesti

2.1.1 Määritelmiä ja peruskäsitteitä

Termille ”tietomalli” ei ole yhtä vakiintunutta määritelmää, vaan sitä on käytetty eri yhteyksissä eri tavoin. Tässä työssä käytetään RT-kortin 10-10992 määritelmää: ”Tietomallintamisella (BIM, Building Information Modelling) ja mallintavalla suunnittelulla tarkoitetaan sellaista 3D-malleihin perustuvaa suunnittelua, jossa malleihin on sisällytetty myös muuta kuin rakennuksen muotoa kuvaavaa tietoa [12].” Lisäksi noudatetaan liikenneviraston käyttämää ja Infra FINBIMin mukaista ohjetta, jonka mukaan infrarakennushankkeen tietomallia kutsutaan inframalliksi. Yksinkertainen 3D-malli sisältää vain mallinnettujen kappaleiden geometrisia ominaisuuksia, kuten pinnan sijainnin. Tietomallissa mallin eri rakenneosia on määritelty myös ominaisuuksin joita ei voi silmällä nähdä. Tällaisia ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi rakenneosan materiaali, rakennusaikataulu, osanumero ja suunnittelijan tunnistetiedot. Tietomallin sisältämille tietotyypeille ei ole mitään rajoitteita, vaan ne riippuvat käytetyistä ohjelmistoista, tiedostomuodoista ja suunnittelukäytännöstä. Suunnitteluprosessi riippuu myös merkittävästi käytetyistä ohjelmistoista ja vaihtelee toimijoiden välillä.

Koska tietomalliin sisällytetään enemmän tietoa kuin perinteisiin suunnitelmiin oltaisiin mahdollisesti sisällytetty, ei ole mitenkään ilmeistä että tietomallipohjainen suunnittelu olisi nopeampaa. Tuotosten laadullisen paremmuuden ajatellaan olevan kaikille osapuolille hyödyllistä itsessään. Käytännön edut riippuvat täysin projektin luonteesta ja siinä sovelletuista suunnittelukäytännöistä. Ylesellä tasolla ero on sitä merkittävämpi mitä suuremmasta projektista on kyse. Mitä suurempi/pitkäaikaisempi projekti ja mitä enemmän vaaditaan muutoksia prosessin aikana, sitä suurempi hyöty tietomallisuunnitelmista on. Jos kohteeseen halutaan useita koneohjausmalleja, saadaan malleja tehtyä tietomallisuunnitelmasta tehokkaammin. Koska suuret toimijat, edelläkävijänä Liikennevirasto, vaativat suunnittelijoita käyttämään

tietomalliformaatteja osapuolten tiedonvälitykseen, on kaikkien toimijoiden lopulta niin toimittava.

Suuri osa infrarakentamisen tietomalleja käsittelevästä tutkimuksesta on kirjoitettu ennen vuotta 2015. Vuosia vanhan tiedon sovellettavuuteen nykytilassa täytyy suhtautua varovaisesti. Tietomallinnusta käytetään koko hankkeen elinkaareissa, mutta tässä työssä keskitytään vain suunnitteluvaiheen tietomallintamiseen. Suunnitteluvaihe tapahtuu tietenkin usein päällekkäin rakennusvaiheen kanssa, ja prosessit ovat vuorovaikutuksessa.

Perinteisessä suunnittelussa työmaahan liittyvä data muodostaa erillisiä, irrallisia kokonaisuuksiaan. Suunnitelmaan vaadittava data voi sisältää Maanmittauslaitoksen korkeusmallin, kentältä tehtyjä kartoituksia ja pohjatutkimuksia sekä vanhoja ja uusia suunnitelmia. Piirretty suunnitelma sisältää tulkinnan datasta, mutta ei dataa itsessään. Mallissa puolestaan kuvataan ”todellisuutta” mallin rajojen puitteissa. Dataa voidaan käyttää yhdessä suunnitteluympäristössä mallintamisen yhteydessä tai joissain tapauksissa malli voidaan luoda suoraan aineistosta. Mallin luominen edellyttää edelleen usein mallintajan tulkintaa, mutta vain kerran mallin luonnin yhteydessä. Tämän jälkeen kaikki mallia käyttävät suunnittelijat työskentelevät saman tulkinnan pohjalta. Suunnitelmaversioiden hallinta on automaattista, jos kaikki suunnittelu tapahtuu samaan malliin. Yhteinen malli paljastaa myös mahdollisia ristiriitoja suunnitelmissa. Piirustukset ja luettelot eivät ole enää omia kokonaisuuksiaan, joissa voi olla virheitä, vaan tapoja havainnollistaa mallia.

2.1.2 Mallit ja osamallit eri käyttötarkoituksiin

Termillä ”malli” voidaan viitata mihin tahansa yksinkertaistettuun kuvaan todellisuudesta, eikä se yleisesti viittaa tietomalliin. Tietomalli sisältää itse mallin lisäksi siihen liittyvää muuta tietoa. Jopa paperikuvaa voi pitää mallina. Tietomallinnuksen yhteydessä erilaiset mallit viittaavat yleensä johonkin geometriseen kokonaisuuteen. Tietomalli sisältää yleensä monta osamallia.

Koneohjausmalli on suunnitelmatiedosto, jossa maarakenteen rakennepinnat on mallinnettu rakennusvaiheen tarpeisiin oikeisiin sijainteihinsa käytetyssä koordinaattijärjestelmässä. Koneohjausjärjestelmä on työkoneeseen asennettu järjestelmä, joka pystyy seuraamaan koneen sijaintia ja vertaamaan sitä malliin. Eri valmistajien koneohjausjärjestelmissä on suuria eroja, mutta kirjoitushetkellä järjestelmät kykenevät yleensä seuraamaan kaivinkoneen kauhan kärjen sijaintia GPS-pohjaisesti ja näyttämään kuljettajalle visuaalisesti sijainnin rakennepintaan verrattuna. Määritelmän mukaan koneohjausmalli ei itsessään välttämättä ole tietomalli, koska se ei yleensä sisällä kuin haluttujen rakennepintojen geometriaa. Pinnat erotellaan toisistaan nimeämällä ne osapuolten yhteisesti hyväksymää nimeämiskäytäntöä noudattattaen. Koneohjausjärjestelmiä on erilaisia, ja niistä vain jotkut kykenevät lukemaan yleisiä

tietomalliformaatteja suoraan. Koska täysi tietomallisuunnitelma sisältää suunnittelukohteen 3D-geometrian, pitäisi sen olla helposti jalostettavissa koneohjausmalliksi. Jos tietomalliohjelma pystyy tallentamaan geometriaa koneohjausjärjestelmän tukemassa formaatissa, saadaan koneohjausmalleja suoraan suunnitteluohjelmasta. Koneohjausmalli on yksi tietomallista saatava tuote paperikuvien tapaan.

Mallinnuskokonaisuudet koostuvat yleensä ”osamalleista”, esimerkiksi maaperämalli voi olla osa lähtötietomallia. Maaperämalli voi sisältää osamallin jokaisen maalajin rajapinnasta. YIV käyttää myös termiä ”katselumalli” aineistosta joka on valmisteltu pelkkään visualisointiin [4, osa 1]. BuildingSMART Finland on luonut nimikkeistön ohella InfraBIM-sanaston, missä inframallintamisen termejä on selostettu suomeksi ja englanniksi [3]. Sanastosta on sekä lyhyt että pitkä versio.

Lähtötietomalli

YIV:n osa 3 käsittelee lähtötieto- ja nykytilamalleja [4, osa 3]. Lähtötietomallissa lähtötietoaineistot on harmonisoitu tietomallintamista tukevaan muotoon. Käytännössä eri lähtöaineistot on mallinnettu ja sovitettu yhteen. Koska mallintaminen on lähtötietoa muokkaava prosessi, tulee aineiston alkuperä ja sille tehdyt toimenpiteet dokumentoida tietomalliselosteeseen. Hyvän lähtötietomallin pohjalta työskennellessä suunnittelijan ei tarvitse jatkuvasti referoida mallin ulkopuolelle suunnittelun aikana. Lähtötietomalli kuvaa vain nykytilaa, mutta voi silti päivittyä suunnittelun aikana.

Suunnitelmamalli

Suunnitelmamalli on varsinaisen suunnittelutyön tuloksena tuotettu malli. Jos suunnitelmaa päivitetään, se tehdään suunnitelmamalliin. 2D-piirustukset ja toteutusmallit, kuten koneohjausmalli, tuotetaan suunnitelmamallista. Suunnitelmamalli koostuu vaihtelevasta määrästä osamalleja. Suunnitelmamalli tallennetaan yleensä käytetyn ohjelman natiiviformaatissa.

Toteutusmalli

Toteutusmalli on paperiseen työmaakuvaan rinnastettava suunnitelma tietyn rakenteen toteuttamiseksi. Koneohjausmalli on yksi yleinen toteutusmalli. Jos suunnitelmamalli sisältää tarvittavat osat, voi toteutusmalli olla peräisin suoraan siitä. Toteutusmallien formaatit ja sisältö riippuvat täysin siitä mitä käyttäjä tarvitsee.

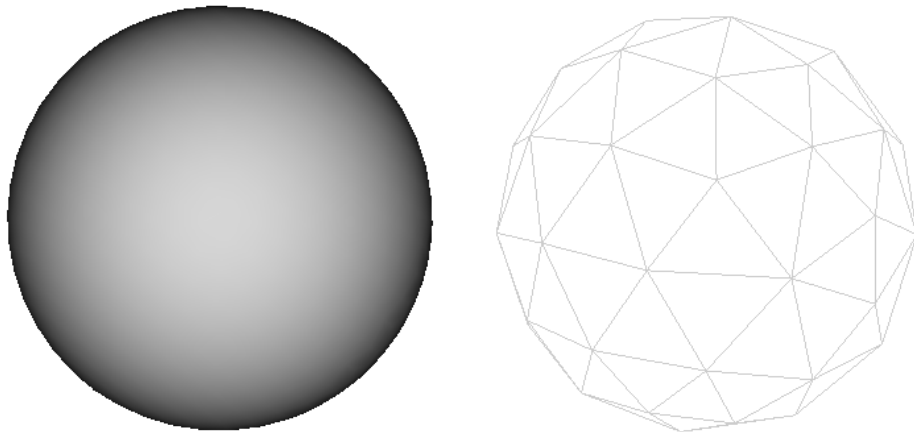
Toteumamalli

Toteumamalli perustuu toteuma- ja tarketietoon. Moni koneohjausjärjestelmä kerää toteumatietoa työn suorituksesta. Toteumatiedosta voidaan luoda toteumamalli. Suunnitelma- ja toteumamalleja vertaamalla voidaan tutkia työn etenemistä ja laatua.

Yleensä hankkeen tilaaja määrittelee suunnittelussa noudatettavat laatuvaatimukset. Usein suunnittelun vaatimuksia määrittelee InfraRYL ja mallintamisen vaatimuksia Yleiset inframallivaatimukset (YIV).

2.1.3 Kolmioverkko

Inframalli muodostuu useista erityyppisistä objekteista. Mallinnetuista objekteista ehkä keskeisin on kolmioverkko. Kolmioverkko on vain yksi mahdollinen tapa kuvata kolmiulotteisen pinnan topologiaa, mutta inframallintamisessa se on käytännössä ainoa käytetty. Inframodel-formaatissa kaikki rajapinnat ovat kolmioverkkoja. Kolmioista muodostettu jatkuva pinta on tehokas tapa aproksimoida mitä tahansa geometriaa. Kuvassa 1 on esitetty sileän pallon pinta karkealla kolmioverkolla approksimoituna. Kolmiointi on tehokas menetelmä yleisten piste- ja viiva-aineistojen mallintamiseksi jatkuvaksi pinnaksi. Yksinkertaisimmillaan hajapisteet ja viivojen kärkipisteet voidaan tulkita kolmioverkon kärkipisteiksi ja viivat taiteviivoiksi/kolmioiden sivuiksi. Kolmion pinnalla sen korko, tai muu kärkipisteiden arvoilla kuvattu ominaisuus kuten lämpötila, voidaan laskea kaikissa pisteissä yksinkertaisella trigonometrialla.

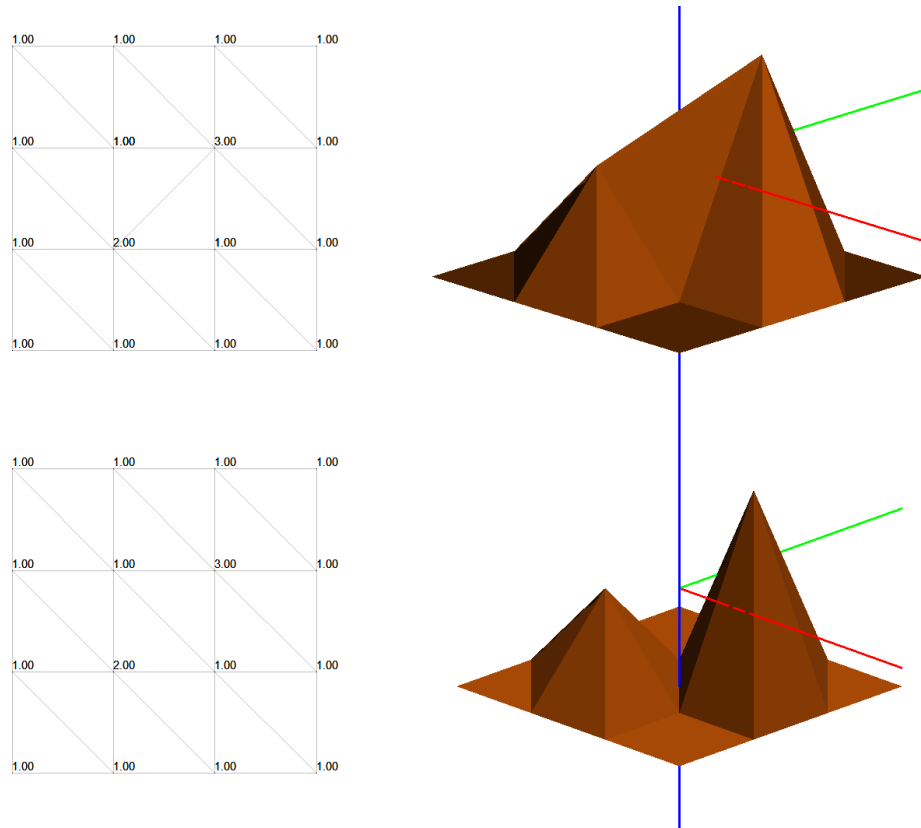


Kuva 1. Geometrinen pallo ja sitä mukaileva kolmioverkko

Kaikki kolmioverkot eivät kuitenkaan ole rakenteellisesti samanlaisia. Jos kolmioverkolla halutaan kuvata mielivaltaisen muotoisia avaruuskappaleita, sisältää kolmiointi yleensä tietoa myös kolmioitujen pintojen pintanormaaleista tai muuta lisätietoa. Toistensa ”alle” kaartuvat pinnat vaativat lisätietoa kolmiointin yksikäsitteisen määrittelyn varmistamiseksi. Maaston mallintamisessa pinta harvoin kaartuu itsensä alle missään pisteessä, tai moninkertainen malli voi jopa johtaa tulkintavaikeuksiin. Tämän vuoksi inframallinnusohjelmissa ja Inframodel-formaatissa käytetään yksinkertaisempaa kolmioverkkoa, missä pinta kolmioidaan aina jossain päätasossa eikä se voi olla taittunut kaksinkertaiseksi. Samoissa tasokoordinaateissa ei voi olla kahta päällekkäistä pistettä eri koroissa, ja kolmioverkko kulkee kaikkien

pisteiden kautta. Tämä nopeuttaa kolmiointia ja tekee kolmioinnista yksitulkintaisempaa. Myös tiedostot ovat pienempiä kun niihin ei tarvitse tallentaa kolmioden pintanormaaleja. Käytettävästä ohjelmasta riippuu, voidaanko kolmioverkkoon luoda pystysuoria pintoja. Tekla Civilissä pystysuorat pinnat ovat mahdollisia, mutta usein päädytään mallintamaan pystysuorat osiot äärimmäisen jyrkkinä luiskina.

Ideaalitapauksessa kolmiointi johtaa toistettaessa samaan lopputulokseen. Kolmiointialgoritmien välillä on kuitenkin eroja jotka liittyvät kolmioiden kolmiosivujen suuntaukseen. Jos esimerkiksi neljästä säännöllisestä nurkkapistestä muodostetaan taso, nelikulmioalueen on muodostuttava kahdesta kolmiosta. Algoritmi voi kuitenkin valita kumpaan suuntaan kolmioviiva muodostetaan ja välialueen korkeus johdetaan valittujen pisteiden interpoloinnista. Kuvassa 2 on esitetty saman säännöllisen hilaverkon kolmiointi kahdella tapaa. Kolmioinnin ainoa ero on keskimmäisen kolmiosivun suunnan valinta. Saman säännöllisen hilaverkon keskialue kolmioituu joko luiskana tasosta +2.00 tasoon +3.00 tai vakiotasossa +1.00. Yleisessä Delaunay-kolmioinnissa taiteviivojen suunnat pyritään valitsemaan niin että kolmioiden minimikulmista tulisi mahdollisimman suuret. Edes Delaunay-kolmiointi ei johda aina yksikäsitteiseen tulokseen. Esimerkiksi ympyrän kaarella sijaitsevat pisteet voidaan kolmioida moneen suuntaan Delaunay-ehdon silti täyttyessä. Käytännössä kolmiointialgoritmit tarjoavat myös parametrejä kolmioinnin rajoittamiseen. Kolmioitavassa aineistossa on usein pisteitä niin etäällä toisistaan ettei niiden välille haluta kolmioviivaa vaikka ohjelmistollista estettä ei olisi. Ei ole järkevää olettaa maanpinnan muuttuvan lineaarisesti satojen metrien matkalla. Eri algoritmit tarjoavat erilaisia mahdollisuuksia kolmioinnin rajoittamiseen. Näiden erojen takia täsmälleen sama kolmiointi ei välttämättä ole toistettavissa toisessa ympäristössä, vaikka ohjelmat pohjimmiltaan tekisivät lähes samaa asiaa.



Kuva 2. Havainnekuva kolmioinnin suunnan vaikutuksesta pinnan topologiaan.

Kolmioinnin suuntauksen merkitys riippuu paljon lähtötiedon laadusta. Mitä harvempaa aineistoa kolmioidaan, sitä suurempi vaikutus tilavuuksiin kolmioiden suuntauksella on. Tiheään verkkoon kartoitetussa aineistossa ero tilavuudessa on häviävä. Kolmioinnin tarkastus on aina suunnittelijan tehtävä, koska ohjelmalla ei ole kriteerejä suuntauksen tarkistamiseksi. Lähes kaikki ohjelmat tarjoavat mahdollisuuden kolmioiden kääntämiseen manuaalisesti jo luodussa kolmioverkossa. Koska operaatio tehdään valmiiseen kolmioverkkoon, valinnat eivät säily, jos lähtömateriaali uudelleenkolmioidaan. Toinen mahdollisuus on piirtää taiteviivat valmiiksi lähtöaineistoon. Viivaobjektit kolmioituvat aina kolmioverkon taiteviivoiksi. Muokattu lähtötieto voi kuitenkin aiheuttaa ongelmia aineiston luovutuksessa.

2.1.4 Tietomalliselostus

Tietomalliselostus on varsinaisen tietomallin sisältöä ja tulkintaa selittävä dokumentti. Tietomalliselostuksen avulla muiden kuin tietomallin luoneen osapuolen pitäisi voida tulkita ja käyttää tietomallia. Ohjelmiin liittyvien teknisten seikkojen lisäksi kohteen mallinnus on harvoin täydellinen. Mallissa voi olla puutteita tai epätarkkuuksia, jotka pitää kommunikoida kaikille mallia käytäville tahoille. Yksittäisiä rakenteita joudutaan usein myös nimeämään tulkinnanvaraisilla tunnuksilla, koska nimikkeistössä ei ole juuri oikeaa tunnusta. Tietomalliselostuksen standardoinnilla pyritään välttämään tilannetta missä vain monimutkaisen mallin luoja ymmärtää koko mallin toiminnan.

Yleisten inframallivaatimusten mukaan varsinaista tietomallia selittämään tulee aina luoda tietomalliselostus ja sisällysluettelo [4, osa 2]. Vastaavaa vaatimusta noudatetaan muillakin suunnittelualoilla. Vaatimusten mukaan selostusta päivitetään aina kun malli julkaistaan muiden osapuolten käyttöön. Vastuun tietomalliselostuksen ja yhdistelmämallin luonnista pitäisi kuulua projektin pääsuunnittelijalle tai tietomallikoordinaattorille. Ohjeistus onkin vaatimuksiltaan kirjoitettu sen mukaiseksi. YIV vaikuttaa kuvaavan ideaalitulannetta, missä koko projekti on tietomallipohjainen alusta alkaen ja projektilla on tietomallikoordinaattori. Suurissa projekteissa on voitu erikseen laatia tietomallisuunnitelma jossa kohteen mallintamisen vaatimukset ja vastuuhenkilöt on ilmoitettu kaikille osapuolille.

Jotta rakennushanketta voitaisiin pitää tietomallipohjaisena, pitäisi pääsuunnittelijan käyttää tietomallia suunnittelun pohjana alusta alkaen [12]. Tällöin kohteen lähtötiedoista olisi lähtötietomalli ja kaikki suunnitelmat sovitettaisiin lopulta yhteiseen tietomalliin. Konsultoiva pohjarakennesuunnittelija on usein epätyypillisessä välikädessä, missä osasuunnittelua tehdään tietomallipohjaisesti, vaikka projekti ei sinänsä ole tietomallipohjainen. Tämä hämärtää tietomallisuunnittelun vastuunjakoa. Yleisissä tietomalliohjeissa eritellään paljon vaatimuksia tietomallin luonnille ja dokumentoinnille, mutta vaatimukset on kirjoitettu pääsuunnittelijan tehtävää varten täysin tietomallipohjaisessa rakennushankkeessa. Dokumentoinnin keskeinen tavoite on varmistaa mallien sopivan toimeksiantajan yhdistelmämalliin, millä ei ole merkitystä mikäli osasuunnittelija on ainoa tietomallintava osapuoli.

Lähtötietomallin, lähtötietomallin selostuksen ja seikkaperäisen tietomalliselostuksen laatimisen pitäisi kuulua pääsuunnittelijalle. Osaurakkaa suunniteltaessa niiden luonti kaikkien vaatimusten mukaisesti olisi työmäärältään kohtuutonta. Osasuunnittelijalla ei yleensä ole tarpeeksi lähtötietoja todellisen lähtötietomallin luontiin, eikä syytä sellaisen laatimiseen. Suunnittelijan pitäisi luoda suppeampi lähtötietomalli sisäiseen käyttöön, mutta sellainen malli kannattaa erotella selkeästi YIV:n tarkoittamasta lähtötietomallista. Tarkennus ”sisäinen lähtötietomalli” voisi olla riittävä. Kyseinen malli saatetaan silti haluta luovuttaa asiakkaalle. Tällöin dokumentoinnin täytyy olla selkeä asian suhteen.

Yleisten inframallivaatimusten osan 2 mukaan tietomalliselostuksessa kerrotaan seuraavat asiat [4, osa 2]:

- kohde ja mallin käyttötarkoitus
- sisältyvät tekniikkalajien mallit ja niiden sisältö
- käytetty ohjelmisto ja sen versio ja tiedostomuodot (osamallit, yhdistelmämalli)
- koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä
- osien nimeämis- ja numerointikäytännöt
- mahdolliset puutteet ja keskeneräisyydet mallissa suhteessa kyseisen vaiheen vaatimuksiin
- rakenteiden tarkkuus inframallissa verrattuna vaadittuun vaiheeseen
- tuotetut tiedostot
- laadunvarmistustoimenpiteet
- mallin tarkastus- ja hyväksymistiedot
- muut huomioitavat asiat

Osamallisuunnittelussakin on selvästi jonkinlainen tarve tietomalliselostukselle. Selostus on oltava olemassa jos malli luovutetaan jollekin toiselle osapuolelle. Koska yhdistelmämallit ovat monimutkaisia, tarvitsee myös saman yrityksen työntekijä jonkinlaisen kuvauksen mallin sisällöstä löytääkseen siitä kaiken siihen sisällytetyn tiedon. Sisäiseen käyttöön kannattaisi luoda selkeä tietomalliselostuspohja, joka sisältää valmiiksi yrityksen käyttämien järjestelmien perustiedot. Pienissä projekteissa lähtöaineistoluettelon voi sisällyttää tietomalliselostukseen. Vastaava pohja luotiin opinnäytetyön aikana Taratest Oy:n käyttöön. Pohjassa on valmiita kenttiä joihin voi lisätä tietoa käytetyistä pintatunnuksista ja aineistolle tehdyistä muokkauksista.

2.1.5 Nimikkeistöt

Infrarakentamisessa käytetään yleisesti Rakennustieto Oy:n Infra-nimikkeistöjärjestelmää (uusin Infra2015). BuildingSMART Finlandin alaisuudessa on laadittu Infra-nimikkeistöön perustuva laajennettu InfraBIM-nimikkeistö (kirjoitushetkellä versio 1.6), joka on vapaasti saatavilla [2]. Ohjeen johdannossa kerrotaan, että ”ohjeessa on esitetty väylärakenteiden (tie, katu, rata, vesiväylä) numerointi- ja nimeämiskäytännöt”. InfraBIM-nimikkeistössä Infra-nimikkeistön nelinumeroisiin tunnuksiin on lisätty loppuun kaksi lisänumeroa. Jos tunnusten sisällöllä on suora vastaavuus, lopun lisänumerot ovat nolliä. Muutoin lisänumeroilla eritellään nimikkeistöä tarkemmin.

Infra-nimikkeistön ja InfraBIM-nimikkeistön suurin konseptuaalinen eroavuus on, että InfraBIM-nimikkeistössä tunnukset viittaavat aina tunnuksesta riippuen joko pintaan tai taitevivaan. Infra-nimikkeistössä tunnuksen merkitys on yleisempi ja määrien laskenta perustuu tunnuskohtaisesti määriteltyn mittaussyksikköön. Nimikkeistön noudattaminen on tärkeää määrälaskentaa varten. Määrälaskentaohjeen määrät

perustuvat nimikkeistöön, joten niiden malliperusteinen laskenta edellyttää nimikkeistön oikeaa käyttöä.

Infra maastomalli –formaatile on Liikenneviraston laatima oma koodauksensa, jonka koodiluetteloa voitaisiin pitää omana nimikkeistönään [8]. Koodaus perustuu kohdekoodin lisäksi pintatunnukseen ja viivojen numerointiin, mutta koodiluettelon kohdekoodeja käytetään joskus muissakin yhteyksissä samassa merkityksessä. Jotkin taiteviivojen koodit ovat Infra maastomalli –koodiluettelossa samat kuin InfraBIM-nimikkeistössä. Järjestelmien välillä ei kuitenkaan ole mitään suoraa yhteyttä.

Tekla Civil –ohjelmassa on oletuksena käytössä erikoinen yhdistelmä tunnuksia. Järjestelmä on varmasti syntynyt käytännön tarpeesta, koska pintoja on paljon enemmän kuin InfraBIM-nimikkeistössä. Maasto ja kartta –sovellus sekä Rakenne-sovellus sisältävät erilliset kokoelmat pintoja. Maasto ja kartta –sovelluksessa käytetään pääasiassa lyhyitä yksi- ja kaksinumeroisia tunnuksia, jotka eivät vaikuta perustuvan mihinkään ulkopuoliseen nimikkeistöön. InfraBIM-nimikkeistössä ei ole pintatunnuksia maalajien rajapinnoille, joten maaperämalli edellyttää tunnusten laajennusta. Lisäksi sovelluksessa on pintoja sekä Infra- että InfraBIM-nimikkeistön tunnuksilla. Kuusinumeroisia InfraBIM-tunnuksia on käytetty vain kun tarkentavia lisänumeroita tarvitaan, muutoin tunnus on Infra-nimikkeistön mukainen nelinumeroinen. Rakenteet-sovelluksessa on kategoria InfraBIM-pinnoille, mutta myös hyvin paljon pintoja joilla on keksitty tunnus. Varsinaiset pinnat on yleensä nimetty nelinumeroisilla tunnuksilla luvusta 7000 alkaen, Infra-nimikkeistön tunnusten päättyessä 5000-sarjaan. Väliaikaisilla pinnoilla on seitsemännumeroisia tunnuksia.

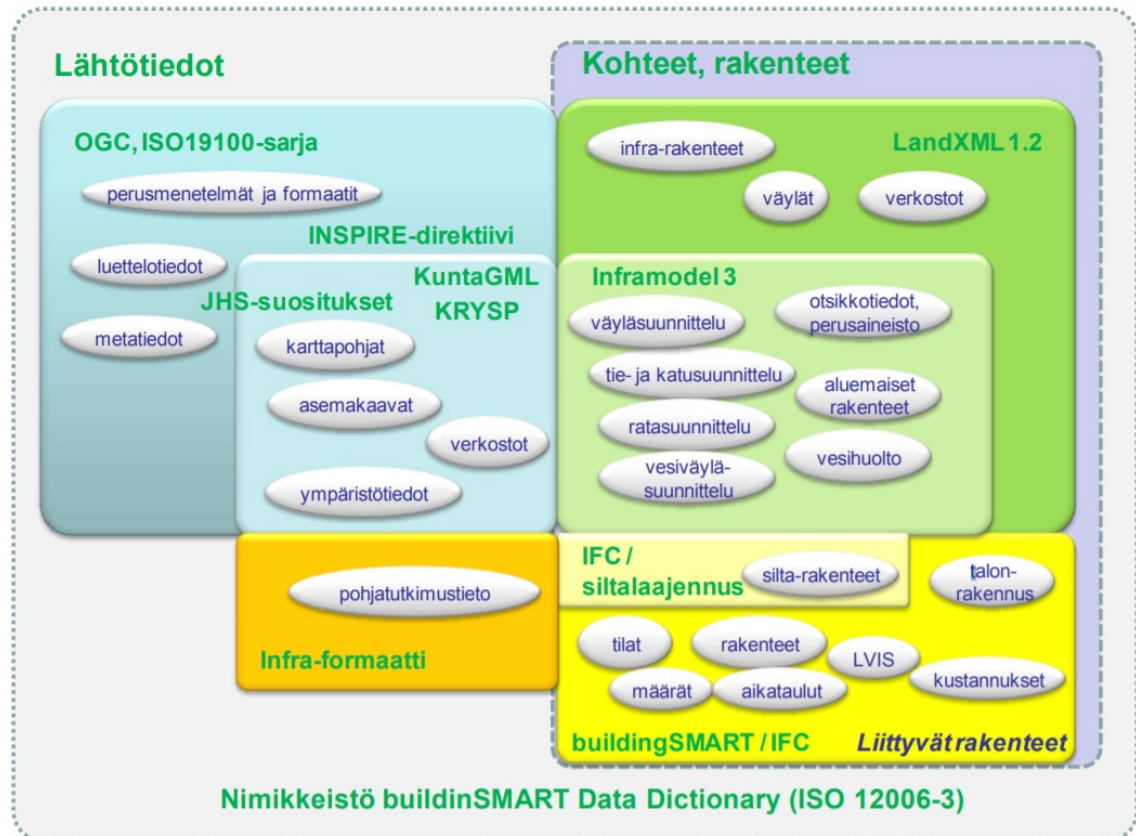
2.2 Tiedostoformaatit

2.2.1 Natiiviformaatti ja yleisasioita

Tässä työssä ei tutustuta tiedostomuotojen ja standardien historiaan, vaan nykytilaan ja parhailaan tapahtuvaan kehitykseen. Kuvassa 3 on esitetty Yleisten Inframallivaatimusten kartta eri tiedonsiirtostandardien keskinäisistä suhteista. Suunnitteluohjelmat tallentavat lähes poikkeuksetta jonkinlaiseen natiiviformaattiin, jota vain kyseinen ohjelma pystyy lukemaan. Natiivimalli sisältää eniten suunnittelutietoa, mutta sitä ei saa hyödynnettyä muissa ohjelmissa, eikä välttämättä edes saman ohjelman muissa versioissa. Suunnittelulajista riippuen natiivimalli voi olla ainoa tapa, jolla kaikki suunnitteluparametrit saadaan siirrettyä eteenpäin. Tielinjan suunnittelu voi ohjelmassa perustua määreisiin, joita ei voi tallentaa kuin natiivimallissa. Jos suunnittelua jatketaan muun mallin pohjalta, malli saattaa sisältää tallennushetken geometrian, mutta ei muita sen määrittämiseen käytettyjä tietoja.

Vanhaa DXF-formaattia on joskus käytetty koneohjausmallien siirtämiseksi koneohjausjärjestelmiin, koska sillä on laajin tuki. Toiminnallisuus olisi kuitenkin

paljon parempi jos järjestelmät tukisivat Inframodel- tai LandXML-formaatteja suoraan. Sekä Leican iCON-koneohjausjärjestelmä että Novatronin Xsite-koneohjausjärjestelmä tukevat Inframodel ja LandXML-formaatteja [10, Sähköposti 29.6.18 Leica Geosystems P. Toppi]. Leican koneohjausjärjestelmät tunnettiin pohjoismaissa ennen brändillä Scanlaser, mutta nyt Leican järjestelmien nimi on iCON.



Kuva 3. YIV 2015 osa 2, Kuva 2. Standardien karkea tietosisältökartta

Mallit saavat sisältää ainoastaan julkaisevan suunnittelijan omia mallinnusosia. Niihin ei saa sisällyttää muiden suunnittelijoiden malleja, vaikka niitä olisikin käytetty referenssimalleina. [4, osa 2]

2.2.2 LandXML

XML (Extensible Markup Language) on standardoitu koodausjärjestelmä jolla tietoa voidaan tallentaa sekä ihmisen että koneen ymmärtämässä muodossa. Standardin pohjalta on johdettu lukuisia tiedostoformaatteja eri käyttötarkoituksiin, mukaanlukien LandXML-formaatti. XML-tiedostoja tapaa monessa asiayhteydessä, mutta tiedostot eivät välttämättä ole mitenkään yhteensopivia LandXML-formaatin kanssa, vaan ne pohjautuvat samaan standardiin tiedon kirjoitusmuodon suhteen.

LandXML on teollisuusyritysten yhteenliittymän kehittämä kansainvälinen, avoin tiedostomuoto infrarakentamisen tiedonsiirtoon. Sitä kehittää LandXML.org Industry

Consortium. Kirjoitushetkellä LandXML-formaatin uusin versio on 2008 ratifioitu versio 1.2 [7]. Tulevan LandXML 2.0 –version ominaisuuksista on julkaistu ehdotus.

Kansainvälisenä ja avoimena formaattina LandXML soveltuu erityisen hyvin niin tiedonsiirtoon kuin arkistointiin. Ohjelmistoyritykset käyttävät usein omia suljettuja tiedostomuotojaan, mitkä tukevat kaikkia kyseisten ohjelmistojen ominaisuuksia. Tämä asettaa suuren haasteen tietomallien arkistoinnille. Suljettuja tiedostomuotoja ei aina pysty avaamaan kuin saman valmistajan ohjelmilla, eikä jatkuvasti päivittyvien ohjelmistojen taaksepäinyhteensopivuutta tulevaisuudessa takaa mikään. Pahimmassa tapauksessa tiedostoja haluttaisiin käyttää vaikka ohjelmistokehittäjä on lopettanut toimintansa vuosia aiemmin. Avoimena ja laajasti käytettynä formaattina LandXML-tiedostot todennäköisesti pysyvät luettavina vuosikymmeniä. Niiden tarkasteluun löytyy myös ilmaisia ohjelmia.

2.2.3 Inframodel

Inframodel on buildingSMART Finlandin kehittämä tiedostomuoto kotimaiseen inframallien jakamiseen [1]. Inframodel perustuu suoraan kansainväliseen LandXML-tiedostomuotoon, mutta sisältää siihen joitain muutoksia. Inframodelin objektien koodaus perustuu InfraBIM-nimikkeistöön, mutta voidaan myös muuttaa tapauskohtaisesti. Inframodel 3.0 julkaistiin 2013. Inframodel 4 julkaistiin 2016, mutta siirtymää ei ole vielä tehty kaikkialla ja molempaa versiota näkee käytössä. Molemmat versiot perustuvat LandXML 1.2:een. Inframodelin ja LandXML:n sukulaisuuden vuoksi Inframodelia tukevat ohjelmat kykenevät yleensä lukemaan myös LandXML-tiedostoja. Yksittäisen pintamallin siirrossa formaattien välillä ei välttämättä ole käytännön eroa.

Inframodelissa maaperämallin rajapinta kuvaa aina maalajikerroksen yläpintaa. Näin minkä tahansa pisteen maalajin voi selvittää etsimällä ensimmäisen suoraan yläpuolisen rajapinnan. Järjestelmällä voidaan kuvata myös maaperän onkalot. Julkisten tahojen tuesta johtuen Inframodelia käytetään Suomessa erittäin laajasti. Liikennevirasto on vaatinut Inframodelin käyttöä kaikissa kohteissaan jo vuodesta 2014 alkaen. Inframodel on tuettuna myös joissain koneohjausjärjestelmissä.

2.2.4 IFC

IFC on standardi rakennusten tietomallitiedon tallentamiseen. Sekä standardiin (IFC, Industry Foundation Classes) että sitä käyttävään tiedostomuotoon (IFC-SPF, .ifc) viitataan samalla lyhenteellä. Myös IFC-formaatista vastaa buildingSMART, mutta toisin kuin Inframodelin tapauksessa, buildingSMART Finland ei ole kehittänyt suomalaisen rakennusteollisuuden käyttöön omaa versiotaan. IFC:llä on avoimena ja yleisesti käytettynä tiedostomuotona vastaava asema rakennusmallintamisessa kuin LandXML- ja Inframodel-tiedostomuodoilla maarakenteiden yhteydessä. Useimmat

ohjelmistot pystyvät lukemaan ja kirjoittamaan IFC-tiedostoja ja niiden arkistoitavuutta voidaan pitää kohtuullisena. IFC:n määritelmä on kansainvälisen standardisointijärjestelmä ISO:n vahvistama (ISO 16739:2013). Suunnitteluohjelmat kuitenkin käyttävät sisäisesti omia tiedostomuotojaan, koska niissä on IFC-formaatista puuttuvaa toiminnallisuutta.

IFC perustuu pitkään käytössä olleeseen STEP-tiedostomuotoon. STEP-geometria ei koostu kolmioverkoista, vaan tilavuuden omaavista kappaleista joiden geometria on määritelty matemaattisesti. Erolla on väliä, koska esimerkiksi Inframodelin geometria perustuu kolmioverkkoihin. STEP-geometrian tilavuusmallia ei ole mahdollista muuntaa suoraan kolmioverkoksi tai kolmioverkkoa STEP-geometriaksi. Koska geometrian ero on perustavanlaatuinen, kyseiset muutokset tuottaisivat aina rakenteellisesti hyvin erilaisen mallin. Tekla Civil –ohjelmassa IFC-malleja voidaan tuoda inframalliin referenssiksi, mutta niitä ei voida muokata. Siltojen ja rakennusten mallit toimitetaan IFC-formaatissa, ja liittyvinä rakenteina niiden referointi suunnittelutyössä on tärkeää. IFC-mallin suhteen voidaan tehdä myös törmäystarkastelu erilisessä ilmaisessa Tekla BIMsight -ohjelmassa. Ohjelma osaa IFC-mallien lisäksi lukea Tekla Civilin putki- ja kaivosuunnitelmia. Tekla Civilissä itsessään ei voida tehdä törmäystarkastelua.

2.2.5 IFC ja Inframodel-mallien yhteensopivuus

Talonrakennusala ja infrarakennusala ovat kehittäneet omat tiedonsiirtoformaattinsa omia tarpeitansa varten. Talonrakennuksen IFC-formaatilla ja inframallintamisen Inframodel-formaatilla ei juuri ole yhteistä rajapintaa. Tietomallinnetuissa rakennuskohteissa törmää väistämättä molempaan formaattiin. Formaattit eivät juuri kykene esittämään toistensa tietosisältöä suurten perustavanlaatuisten erojen vuoksi. Geometria määritellään eri tavoin, metatiedon koodaus on erilainen ja nimikkeistöt ovat eri. Rakennukset myös usein suunnitellaan työkoordinaatistossaan ja infrakohteet todellisissa koordinaateissa. Joissain tapauksissa malleja halutaan kuitenkin käsitellä yhdessä.

Tapauksia, joissa malleja halutaan yhdistellä, voivat olla törmäystarkastelu, visualisointimallien luonti ja maastomallin hyödyntäminen pihasuunnittelussa. Suunnitellut rakennukset ja sillat halutaan tuoda inframalliin geometrian yhteensovittamiseksi. Tähän löytyy yleensä ainakin keskinkertaiset ohjelmistotyökalut. Törmäystarkasteluun voidaan haluta inframallista viemärimalli tai muita teknisiä järjestelmiä. Taloteknisten järjestelmien törmäystarkastelu tapahtuu talosuunnitteluun tarkoitetuilla ohjelmistoilla, eikä siihen paneuduta tässä työssä. Joskus suunnittelijat voivat haluta maastomallin ohjelmistoihin, jotka eivät tue Inframodelia. Tällöin maanpinnasta on kolmannessa ohjelmassa yritetty luoda IFC-malli joka menettää kaiken metatietonsa. Inframallinnusohjelmat itsessään eivät pysty tallentamaan IFC-geometriaa. Ongelma ei mielestäni ole suuri, koska inframallin sisältöä harvoin

tarvitaan infrasuunnittelun ulkopuolella. Joskus erikoisia muunnosoperaatioita kuitenkin tarvitaan. Käytännössä arkkitehdin välillä tietoa siirretään yleensä IFC-formaatissa ja pohjarakennusurakoitsijoiden ja –suunnittelijoiden välillä Inframodel-formaatissa.

2.2.6 Muut tiedostformaattit

Seuraavat formaatit eivät ole tietomalliformaatteja, mutta ne ovat tämän opinnäytetyön kannalta hyvin keskeisiä.

Pohjatutkimusformaattit

Kairausformaattien tiedostot sisältävät kairausprosessissa tehdyt mittaushavainnot. Nykyaikaisten laitteiden tuottama pohjatutkimus-mittausaineisto on valmiiksi oikeassa muodossa ohjelmistoihin ladattavaksi. Kairauksissa käytetään lähes aina Infra-pohjatutkimusformaattia tai muita vanhasta TEKLA-formaatista johdettuja formaatteja. TEKLA-formaatista johdettuja samankaltaisia tiedostomuotoja kutsutaan usein TEKLAN murteiksi [14]. Tiedostot ovat niin samankaltaisia, että murteet saadaan yleensä muutettua uusimpaan Infra-formaattiin automatiikalla. Poikkeuksiin voidaan kuitenkin törmätä, koska heikosti dokumentoituja murteita on lukemattomia.

Infra-kairausformaatti on Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen (SGY) luoma pohjatutkimusformaatti Suomessa käytettyjen pohjatutkimustapojen raportoinnin harmonisoimiseksi. Sitä ei tule sekoittaa Inframodeliin. Versio 1.0 julkaistiin vuonna 2004 INFRA Rakentaminen ja palvelut 2001-2005 –teknologiaohjelman yhtenä tuotoksena [13]. Alan perinteestä Infra-kairausformaattiin viitataan edelleen yleisesti TEKLA-formaattina, mutta virallisten asiakirjojen mukaan vain ensimmäiset työversiot perustuivat TEKLAan ja korrekti nimitys SGY:n kehittämälle formaatille on Infra-kairausformaatti. Liikenneviraston 2017 julkaisuissa Maastotietojen hankinta, Toimintaohjeet sekä Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot, Mittausohjeet viitataan Infra maastomalli -formaattiin, jonka todetaan olevan yhtenevä yleisen Geonic-formaatin kanssa [8]. Toistaiseksi kyseiset kaksi julkaisua vaikuttavat olevan ainoat lähteet missä kyseistä termiä on ikinä käytetty, mutta infra-kairausformaattia täytyy kutsua tämän vuoksi nimenomaan kairausformaatiksi. Infra-kairausformaatin ajantasaisin versio 2.3 ei kata vinojen kairausten ja joidenkin laboratoriotutkimusten tulosten siirtoa, mutta on muuten erittäin kattava. Myös vinot kallionäytekairaukset voidaan arkistoida formaatissa.

Geonic/Tielaitos-formaatti/Infra-maastomalliformaatti

Maastomalli jaetaan usein Geonic-formaatissa. Tämä on Liikenneviraston vaatimus aineiston jakamiselle. Formaattista käytetään myös nimiä Tielaitos-formaatti ja Infra-maastomalliformaatti. Formaatin tarkka määritelmä tai tulkinta siitä, ovatko kolme nimettyä formaattia tosiaan sama formaatti eri nimellä vai kolme erilaista, mutta

käytännössä identtistä formaattia, on ongelmallinen. Tarkkaan formatoituihin tekstiriveihin perustuva formaatti on kuitenkin niin yksinkertainen, että loppukäyttäjälle tällä ei yleensä ole merkitystä. Ohjeissa perehdyään yleensä enemmän siihen miten formaattia käytetään, kuin siihen, miten se on varsinaisesti määritelty. Geonic-tiedosto sisältää vain neljällä eri tunnisteella koodattuja pisteitä. Geonic-formaatti ei siirrä kolmioituja pintoja, mutta koska aineisto kuvaa pinnan hajapisteitä ja taiteviivoja tunnetulla nimikkeistöllä, on aineiston kolmiointi pintamalliksi yleensä helppo toimenpide. Aineiston on kuitenkin katettava suurempi alue kuin mittausalue tai reunoilla voi tulla tulkintavaikeuksia. Formaatti ei tue kaaria tai muuta geometriaa, vaan viivat ovat aina murtoviivoja. Maastomallin jakaminen Inframodel-formaatissa Geonic-formaatin sijaan tulee varmasti yleistymään tulevaisuudessa.

Tasopiirustusformaattit

2D-suunnitelmapiirustukset ovat edelleen keskeinen osa suunnitteluprosessia. Todennäköisesti osa suunnitelmista on laadittu perinteisillä teknisillä piirustusohjelmilla tai vanhoja aineistoja käytetään uuden suunnittelun tukena. Yleisimmät vektorikuvaformaattit ovat AutoCAD DXF ja DWG –formaattit. DXF on vanhetunut formaatti tiedonsiirtoon Autodeskin ja muiden valmistajien ohjelmien välillä. DXF on lähes universaalisti tuettu sen hyvän dokumentoinnin ja avoimen lisensoinnin vuoksi. Formaatti ei kuitenkaan tue uudempien ohjelmien kaikkia piirtokohteita ja ominaisuuksia, eikä sitä enää käytetä yleisesti kuin yksinkertaisten kuvien tiedonsiirtoon. Uudempi DWG-formaatti on korvannut DXF-tiedostot Autodeskin ohjelmistoissa. DWG:n ohjelmistotuki vaatii lisensointia joko Autodeskiltä tai Open Design Alliancelta, mutta on silti hyvin yleinen. DWG-formaatin versiota päivitetään usein, eivätkä kaikki ohjelmistot saa tukea uudelle versiolle kovin nopeasti sen julkaisun jälkeen. Autodeskin ilmainen DWG TrueView –ohjelma mahdollistaa DWG-tiedostojen muuntamisen eri versioiden välillä.

2.2.7 Mittaustiedon ja mallien arkistoitavuus

Tallennuslaitteiden kapasiteetti on nykyään niin suhteettomasti suurempi kuin suunnittelussa syntyvät datamäärät, että arkistoinnin haaste on enemmän logistinen kuin tekninen. Arkistointia täytyy tehdä systemaattisesti ja muodossa, missä tietoa voidaan käyttää myös tulevaisuudessa. Tässä opinnäytetyössä suositellaan, että konsultoiva suunnittelija arkistoisi kopion kaikesta asiakkaalle lähetetystä materiaalista Inframodel-tiedostomuodossa. Näin myös tapauksissa, joissa asiakkaan haluama muoto on eri tai Inframodel ei tue kaikkia suunnitelman ominaisuuksia. Jos vanhoja suunnitelmia täytyy tarkastella tai niitä halutaan käyttää uuden suunnitelman apuna, minkä tahansa muun tiedostomuodon lukeminen voi muuttua vaikeaksi jopa hyvin lyhyellä aikavälillä. Myös vain osittaista mallinnustietoa sisältävä Inframodel-malli voi sisältää ne ominaisuudet, joista suunnittelija on myöhemmin kiinnostunut.

Pohjatutkimusten raakadata tulisi arkistoida uusimman Infra-kairausformaatin mukaisesti. Formaatti on selkokielineen, hyvin dokumentoitu ja yleisesti tuettu. Muissa TEKLA-johdannaisissa formaateissa säilötty tieto pysyy luettavana siinä mielessä, että kaikki formaatit ovat selkokieliisiä. Niiden käyttö voi kuitenkin johtaa sekaannuksiin. Tarkka tulkinta voi vaatia kairaushenkilöstön asiantuntemusta, eikä minkään ohjelman tuki näille formaateille ole taattu.

2.3 Tekla Civil -ohjelmisto

Tekla Civil on Yhdysvaltalaisen Trimblen kehittämä ohjelma infrarakentamisen tietomallintamiseen. Trimble kehittää tietomalliohjelmistoja myös rakennesuunnitteluun (Tekla Structures) sekä ratkaisuja tietomallien visualisointiin ja jakamiseen. Vuoteen 2011 asti Tekla-ohjelmistoja kehitti suomalainen Tekla Corporation, joka sulautettiin Trimbleen yrityskaupan jälkeen [15]. Taratest Oy:llä on käytössään Tekla Civil ja kirjoittajalla on aiempaa kokemusta Tekla Structures –ohjelmasta.

Tekla Civil on tarkoitettu koko hankkeen elinkaaren aikaiseksi suunnittelu ympäristöksi. Suunnitelman natiivimalli sijaitsee yrityksen yhteisellä serverillä yksittäisen työaseman sijaan. Näin ohjelma sallii usean käyttäjän työstävän mallia samanaikaisesti ja kaikilla on käytössään aina ajantasaisin suunnitelma. Ideaalitulanteessa Tekla Civil - yhdistelmämalli sisältää kaiken kohteessa tarvittavan tiedon yhdessä tietokannassa.

Tekla Civilin käyttölogiikka on jaettu erillisiin ohjelman sisäisiin ”sovelluksiin”, jotka on tarkoitettu tietyn suunnitelmakokonaisuuden tarpeisiin. Sovellukset lisensoidaan erikseen, joten käytettävissä olevat sovellukset vaihtelevat. Esimerkiksi Maasto ja Kartta -sovellusta käytetään maastomallin luomiseen ja editointiin. Väylien ja joidenkin muiden rakenteiden suunnitteluun käytetty Rakenne-sovellus voi hakea korkeustietoa Maasto ja Kartta –sovelluksessa mallinnetuista rakennepinnoista, mutta ei tee niihin itse muutoksia. Jos rakenne on sidottu pintaan, sen sijainti muuttuu jos Maasto ja Kartta –sovelluksen pintoihin tehdään muutoksia.

Sovelluksen perusosaa kutsutaan pääsovellukseksi. Pääsovellus vastaa suunnitelman tallentamisesta ja kaikille sovelluksille yhteisistä toiminnoista. Pääsovelluksessa on aina aktiivisena jokin toinen sovellus. Muiden sovellusten toiminnallisuudesta on annettu alla lyhyt kuvaus. Referenssimallit ja taustakartat kuuluvat pääsovellukseen.

Maasto ja Kartta

Sovelluksella hallitaan maastomittaus- ja kartoitusaineistoa. Aineisto mallinnetaan kolmioverkkomuotoisiksi pintamalleiksi. Maanpintaa kuvaava pintamalli on maastomalli. Yksittäisiä maalajirajoja kuvaavat pintamallit muodostavat yhdessä maaperämallin.

Pohjatutkimukset

Sovelluksella hallitaan pohjatutkimuksista ja laboratoriokokeista saatua dataa, sekä laaditaan pohjatutkimusohjelmia. Pohjatutkimukset luetaan yleisesti käytetyistä formaateista suoraan ohjelmaan. Pohjatutkimukset-sovelluksessa on työkaluja pintojen luomiseksi pohjatutkimuksista, mutta luodut pinnat tulevat osaksi Maasto ja Kartta – sovellusta.

Rakenne

Sovelluksella suunnitellaan väylät, pohjanvahvistusrakenteet ja ”aluerakenteet”, eli esimerkiksi pysäköintialueet ja kaivannot. Väylän rakenne on ohjelmassa erillinen käsite väylän linjasta. Poikkileikkaus määritellään erikseen parametrisesti. Todelliset pinnat luodaan automaattisesti kun poikkileikkausrakenne sidotaan johonkin mittalinjaan. Mittalinjan pysty- ja vaakatasauksen muutokset päivittyvät tien geometriaan automaattisesti. Putkikaivannon parametrinen mallinnus on periaatteiltaan täysin sama. Aluerakenteille ei ole vastaavaa parametristä suunnittelua. Massalaskenta tehdään Rakenne-sovelluksessa.

Varusteet

Sovelluksella suunnitellaan kuivatukseen, liikenneohjaukseen, valaistukseen, istutuksiin ja muihin yksittäisistä komponenteista koostuviin kokonaisuuksiin sisältyvät varusteet. Varusteista voidaan tulostaa luetteloita ja niitä voidaan käyttää visualisointiin yhdistelmämallissa. Pinta- ja ketjuriippuvuuksilla varusteiden sijainti voidaan sitoa toisten sovellusten kohteisiin.

Piirustukset

Sovelluksella luodaan 2D-tulosteita muissa sovelluksissa mallinnetusta aineistosta. Malliin tehdyt muutokset päivittyvät tallennettuihin piirustus pohjiin automaattisesti. Kairauksista voidaan luoda kairausdiagrammeja ja määristä listoja. Piirustus pohja voi sisältää myös selitteitä, kuten nimiön.

Projekti piirtokohteet

Projekti piirtokohteet ovat kartalle piirrettäviä merkintöjä, jotka eivät itsessään ole osa suunnitelmaa. Niillä voidaan selventää mallin tulkintaa eri tavoin. Ruudulla voidaan esittää esimerkiksi mittamerkintöjä ja aluekorostuksia.

Solution-liitos

Solution-liitoksella voidaan hakea suunnitelmatietoa muista Trimblen suunnitteluohjelmista.

2.4 Maastomalli

Maastomalli on maanpintaa kuvaava malli, joka sisältää erilaista tietoa maanpinnan ominaisuuksista [8, 9]. Tärkeä osa maastomallia on korkeusmalli, mikä kertoo pinnan korkeuden kaikissa pisteissä. Maanmittauslaitos määrittelee termin pintamalli maaston ylimmäksi korkeustasoksi, joka huomioi esimerkiksi puunlatvat. Tämä on kuitenkin ristiriidassa pintamalli-termin yleisen määritelmän kanssa, minkä mukaan mikä tahansa pintaa kuvaava jatkuva malli on pintamalli. InfraBIM-sanasto antaakin maastomallille määritelmän ”Digitaalinen maaston pintamalli” [3]. Tämän määritelmän mukaan maastomallin ei välttämättä tarvitse sisältää muuta kuin korkeustietoa. Maastomallin voi jakaa kahteen kokonaisuuteen, korkeusmalli ja ympäristökohteet.

Maastomallin sisältö riippuu mittauskohteesta ja mittaus suunnitelmasta. Vähimmillään maastomallin täytyy sisältää tieto pinnan korkeudesta mittausalueella. Usein maastomalliin mitataan erilaisia rakenteita, kuten rakennusten ulkoreunat, puiden sijainti, väylien ja reunakivien rajat ja liikenteenohjausjärjestelmät. Kaikki mittaukset sidotaan samaan tasokoordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään mittausalueen kiintopisteiden mukaan. Suomessa koordinaatisto on EUREF-FIN-järjestelmän mukainen ETRS-GK-koordinaatisto, jos kohde ei erityisistä syistä vaadi toisen koordinaattijärjestelmän käyttöä. GK-koordinaatiston kapeat projektiokaistat pitävät maksimivirheen pienenä mittauskaistan sisällä. Korkeusjärjestelmänä käytetään yleensä N2000-korkeusjärjestelmää. N2000 on suomalainen versio Euroopan yhteisestä EVRS-korkeusjärjestelmästä. Kaikkia kohteita kuvataan hajapistein tai viivoin.

Maastomalli perustuu yleensä maastokartoitukseen, laserkeilaukseen tai fotogrammetriseen kuvaukseen. Liikenneviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot, Mittausohjeet -julkaisu nimeää joitain mittauskohteita joiden ainoa hyväksyttävä mittautapa on takymetri tai reaaliaikainen GNSS-satelliittimittaus. Tällaisia kohteita ovat lähinnä erilaiset hallinnolliset rajat ja liikenteenohjauksen ja kuivatusjärjestelmien komponentit. Käytännössä kaikki kohteet vaativat joitain mittauksia takymetrillä, vähintään muiden mittauksen asettamiseksi tarkkoihin koordinaatteihin. Pääasiallisen mittausmenetelmän valinta riippuu kohteen luonteesta ja laajuudesta. Pienellä alueella tai vain yksittäisiä rakenteita mitattaessa pelkkä takymetrimittaus voi olla tehokkain menetelmä. Mitä suurempia alueita mitataan, sitä enemmän hyötyä aluemitauksista on. Avointa kallio- tai maanpintaa on helppo mitata laserkeilaamalla tai stereografisesti, mutta kasvuston peittämää pintaa voidaan joutua mittaamaan takymetri- tai GPS-mittauksena.

Maastomittaus takymetrillä luo Geonic-tiedoston, joka sisältää hajapisteitä ja hajapisteistä koostuvia taiteviivoja. Pisteillä on koodaus mistä mittauskohteen tyyppi tulkitaan. Koodauksia käyttämällä voidaan myös muodostaa viivoja. Formaatti on sama missä maastomalli yleensä jaellaan mulle tahoille. Jos koodaus on täysin oikein, voi mittauksesta syntynyttä dataa pitää jopa suoraan maastomallina. Käytännössä

maastomittaukset vaativat kuitenkin aina muotoilua jälkikäteen muodostaakseen käyttökelpoisen maastomallin.

2.5 Maaperämalli

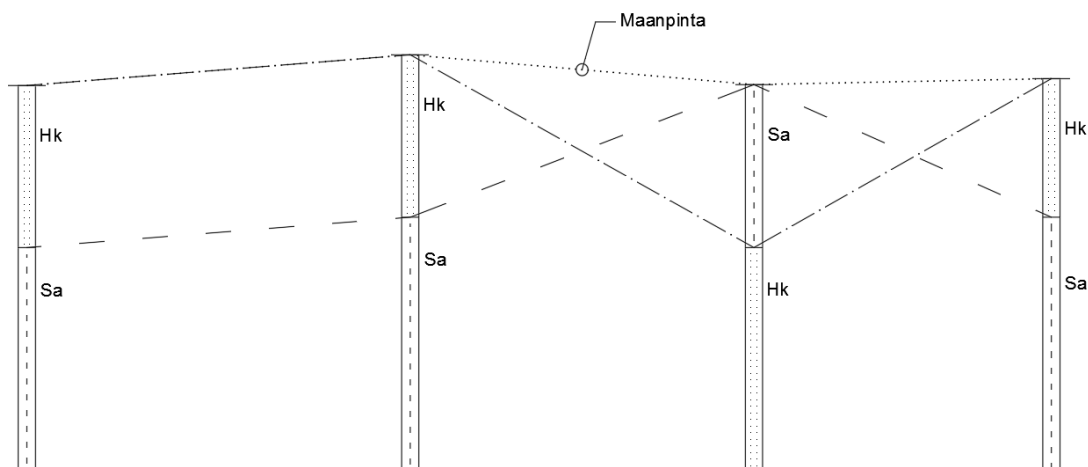
Pohjatutkimus on mikä tahansa maanpinnan alaisia ominaisuuksia määrittävä tutkimus. Tutkimusten perusteella halutaan luoda maaperämalli maalajien rajapinnoista, määrittää maalajien ominaisuudet ja pohjaveden tila. Mallissa saatetaan haluta esittää vain rajapintojen geometria, koska mitoituslaskentaan saadaan harvoin hyödynnettyä mallia. Periaatteessa lähes kaikki ominaisuudet on kuitenkin esitettävissä tietomallin sisällä. Yleisimpiä pohjatutkimuksia ovat pystysuorat kairaukset, kallionäytekairaukset, pohjavesihavainnot ja laboratoriokokeet. Kaikkia näitä voidaan tallentaa ja siirtää Infra-kairausformaattissa. Maatutkaluotaimen mittauksia ei voida tallentaa Infra-kairausformaattissa. Maatutka-aineistoa voidaan tuoda ohjelmaan Roadscanners-formaatissa, mutta ohjelma ei luokittele pistetutkausta pohjatutkimukseksi. Tutkatut rajapinnat luodaan maasto ja kartta -sovelluksessa.

Maaperämalli on malli kalliopohjasta ja maanalaisista maalajikerroksista. Maaperämalli koostuu osamalleista, jotka ovat maalajikerrosten rajapintoja. Inframodelin yhteydessä rajapinnat ovat kerrosten yläpintoja, jolloin maalaji on helposti tulkittavissa kaikkialla kalliosta maanpintaan. Pohjatutkimushavainnot ovat yleensä maastossa kaukana toisistaan. Kun havainnoista luodaan kolmioverkkoja, havaintopisteiden väli interpoloidaan lineaarisesti kolmioviiivalla. Havaintopisteistä voi luoda kolmioverkon vaikka pisteet olisivat kuinka kaukana toisistaan. Erittäin harvasta aineistosta luodulla mallilla ei välttämättä ole käytännön roolia suunnittelutyössä. Periaatteessa interpolointiin voitaisiin käyttää monimutkaisempaa logiikkaa kuin suoran kolmioinnin lineaarinen interpolointi. Epälineaarinen interpolointi ei kuitenkaan tee harvasta datasta yhtään parempaa. Monimutkaisemmat menetelmät todennäköisesti soveltuisivat muutenkin paremmin tapauksiin joissa hyviä havaintoja on paljon. Pisteistä kolmiointi on toistettava prosessi, jossa vain kolmioviivojen suunta voi vaihdella algoritmien välillä. Tekla Civil ei tarjoa muita vaihtoehtoja kuin suoran kolmioinnin.

Kolmioinnissa tutkimushavainnot muodostavat kolmioiden kärkipisteitä. Aineisto kolmioituu tiheämpään alueilla, joissa on enemmän havaintoja. Odotetusti kolmioverkkopinnan luotettavuus on näin parempi alueilla, joilla havaintoväli on tiheämpi. Mallin tarkkuuden arviointiin ei ole hyviä menetelmiä. Malli on jo luotu kaikista käytössäolevista havainnoista, ja kolmioverkko on kärkipisteissään täsmälleen samassa korossa kuin havainnot. Homogeenisessä maastossa voisi odottaa mallin olevan tarkempi samalla havaintotiheydellä kuin heterogeenisessä. Lineaarisen interpoloinnin luotettavuuden arviointi on suunnittelijan tehtävä. Mallin ja aineiston tarkkuuden tulee selvitä tietomalliselosteesta. Aineiston tarkkuuteen sisältyy tietysti samat rajoitteet, vaikka siitä ei luotaisi mallia. Malli kuitenkin luo helposti illuusion

suuremmasta varmuudesta mallin kattamalla alueella. Prosessissa on helppo luoda hyvin laaja-alaisia interpoloituja alueita.

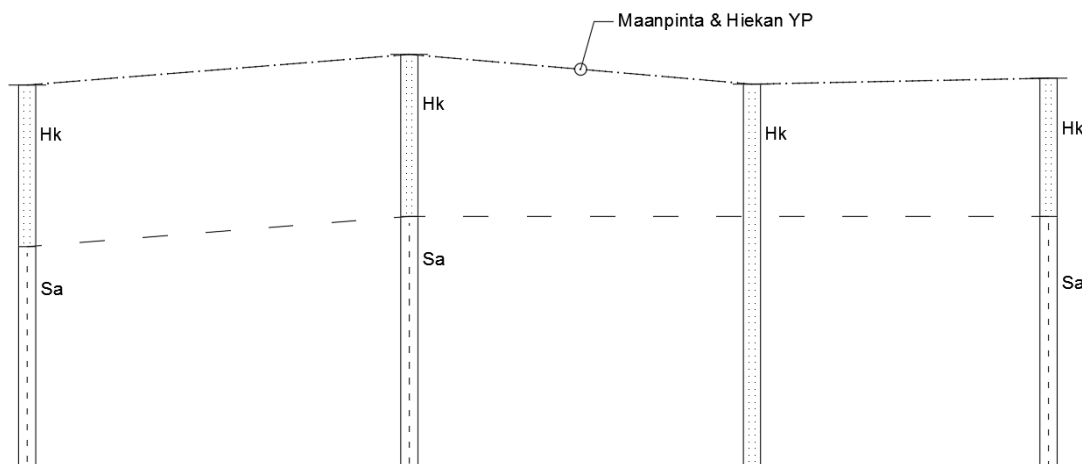
Pohjatutkimuksiin itseensä sisältyy aina mittaus- ja tulkintaepätarkkuutta. Lisäksi pohjaolosuhteet voivat vaihdella pienenkin alueen sisällä. Vierekkäisistä pohjatutkimuksista voidaan havaita samoja kerroksia eri järjestyksessä. Tällöin pohjatutkimustulosten maalajirajojen kolmiointi johtaa toisiaan leikkaavien rajapintojen syntyyn. Risteävistä rajapinnoista on esitetty havainnekuva kuvassa 4. Risteävällä alueella maanpinnan alaista maalajia ei voida määrittää lainkaan. Risteysalueella savi muodostaa linssin hiekkakerroksen päälle. Tällaisesta mallista ei voida kaikkialla tehdä yksikäsitteistä tulkintaa siitä mitä maalajia tiettyssä sijainnissa on. Lähtötietomallin käyttäjän kannalta olisi äärimmäisen suotuisaa, että rajapinnat olisi tulkittu ristiriidattomalla tavalla. Ristiriitainen malli voi olla käyttäjälleen jopa täysin hyödytön. Ongelma johtuu pitkälti mallin ja pohjatutkimusten/todellisuuden perustavanlaatuisista eroista. Mallin vaatima idealisoitu jaottelu materiaalikerroksiin ei välttämättä riitä todellisen maaperän kuvaamiseen. Toisaalta ongelmaa pahentaa tutkimuspisteiden pieni edustavuus koko pohjaolosuhteista. Myös useiden ohuiden maalajikerrosten tapauksessa päädytään helposti yksinkertaistamaan maalajien tulkintaa. Maaperämalli on väistämättä laatijansa tulkinta aineistosta.



Kuva 4. Havainnekuva risteävistä maalajirajapinnoista, leikkaus

Toinen maaperämallin kolmioinnissa syntyvä komplikaatio aiheutuu kolmioinnista, joka ylittää siihen kuulumattomia havaintopisteitä. Eri maalajien rajapinnat muodostetaan itsenäisesti. Kolmiointi perustuu kairauksissa havaittujen rajapintapisteiden yhdistämiseen asetetun maksimikolmiointietäisyyden puitteissa. Ongelmaa on havainnollistettu kuvassa 5. Mallissa saven rajapinnan alla maa on määritelty saveksi vaikka tutkimuspisteessä ei ole havaittu savea lainkaan. Ei ole matemaattisesti yksikäsitteistä menetelmää millä verkkoon voisi luoda aukkoja ”negatiivisten” havaintojen kohdalle. Jos kahden riittävän lähekkäisen maalajihavainnon välissä on havainto, josta maalaji puuttuu, tapahtuu kolmiointi ristiriitaisesta

havainnosta huolimatta. Epälineaariset ja ruudukkoihin perustuvat interpolointimenetelmät voisivat jättää maalajikerrokseen aukon erilaisen havaintopisteen ympärille. Ei ole selvää kuvaisiko näin luotu hienostunut malli todellisuutta luotettavammin vai ei. Yksittäisiin havaintoihin liittyy tulkinnallisuutta ja satunnaisvaihtelua. Jos alueen kaikissa pisteissä yhtä lukuunottamatta havaitaan silttikerros, onko todennäköisempää että pisteen ympärillä kerros puuttuu, vai onko se jäänyt havainnoimatta? Mitä pienemmällä etäisyydellä havaintoja interpoloidaan, sitä todennäköisemmin maaperäolot säilyvät pisteiden välissä.



Kuva 5. Havainnekuva havaintopisteen ylittävästä kolmioinnista, leikkaus

Pelkästään kolmioimalla ei pystytä myöskään ekstrapoloimaan havaintoja tutkitun alueen ulkopuolelle. Pohjatutkimukset ohjelmoidaan yleensä mahdollisimman lähelle tulevia rakenteita, jotta tulos olisi mahdollisimman edustava kriittisissä kohdissa. Maanrakennustyöt ulottuvat kuitenkin laajemmalle alueelle kuin esimerkiksi kantava seinälinja. Määrälaskennan vuoksi tutkimuksia on usein pakko ekstrapoloida. Jos ekstrapolointia tehdään kopioimalla maalajihavaintoja todellisen havaintoalueen ulkopuolelle, mallista tulee entistä tulkinnanvaraisempi. Toimenpiteiden tulisi olla vähintään hyvin dokumentoituja tietomalliselostuksessa, jos aineistoa luovutetaan muille osapuolille. Muokkaamattoman lähtöaineiston tulee myös pysyä käytettävissä.

Ohjelmalla voidaan laatia pohjatutkimusohjelma ja myöhemmin päivittää ohjelmoituihin pisteisiin tutkimuksista saatua tietoa. Kun ohjelmaan on tuotu oikein formatoidut kairaukset, ohjelma ymmärtää maalajitunnuksista mitä maalajia havainnot milläkin syvyydellä edustavat. Ylimmät tai alimmat maalajihavainnot voi poimia pisteiksi halutun maalajitason geometriaan. Mikäli muuta dataa ei ole, pisteet muodostavat koko kolmioverkon. Tutkimuksista luodun maaperämallin tulisi sisältää kaikki suunnittelulle oleellinen tieto kairauksista. Kairauspisteet muodostavat kuitenkin usein harvan verkon ja kairausten tulkinta ei ole yksikäsitteistä. Mallin tarkkuustaso ei välttämättä vastaa kaikkien suunnittelutehtävien tarpeita.

2.6 Pistepilvi

Pistepilvellä tarkoitetaan suuresta pistemittausaineistosta koostuvaa kokonaisuutta. Pistepilviä tuotetaan yleensä joko laserkeilaimella tai stereogrammisesti (ilma)kuvausaineistosta. Koska mittausmenetelmät perustuvat optiseen mittaukseen, aineisto kuvaa lähes poikkeuksetta rakenteen ulkopinnan sijaintia. Pistepilvi on kuitenkin vain massiivinen kokoelma avaruuspisteitä, jotka eivät sisällä mitään muuta tietoa mittauskohteesta. Pistepilvi ei näin ole tietomalli, eikä edes välttämättä malli. Pisteet eivät esitä todellista geometriaa, vaan tasot ja viivat täytyy tulkita. Pistepilviin sisältyy myös paljon virhelähteitä, esimerkiksi heijastuksista, asemointivirheistä ja katvealueista. Korkeassa heinikossa tai lätäköiden alla todellista maanpintaa ei saada mitattua suoraan optisella mittauksella.

Taratest Oy käyttää fotogrammetriaa ja laserkeilausta sekä maaston että rakenteiden kartoittamiseen. Rakenteiden mallinnus tapahtuu täysin eri prosessilla ja ohjelmistoilla, eikä sitä käsitellä tässä työssä. Pistepilvien käyttö on tehokasta laaja-alaisissa kohteissa maaston tai avokallion kartoittamiseen. Mittausprosessi tapahtuu todella nopeasti, mutta työskentelyn painoarvo siirtyy kohti aineiston jälkikäsittelyä. Pistepilven tulkinta käyttökelpoiseksi aineistoksi on ylimääräinen työvaihe ennen varsinaista suunnittelua. Eräs tietomallipohjaiseen suunnitteluun kohdistettu odotus onkin, että pistepilviaineisto saataisiin hyödynnettyä suunnittelussa pienemmällä esikäsittelyllä. Aiemmin aineistoa itsessään ei ole tuotu samaan ohjelmaan, jolla suunnitelmat luodaan. Jos koko pistepilveä voi käyttää referenssinä suunnittelussa pienellä valmistelulla, kannattaa pistepilviä hyödyntää projekteissa useammin.

Maalaserkeilauksessa laserkeilain sijaitsee kolmijalalla maastossa ja mittaa kaiken asemapisteestä näkyvän yhdeksi pistepilveksi. Laserkeilausta voi tehdä myös ilmasta tai autosta, mutta kaikki menetelmät kuuluvat yleistermin laserkeilaus alle. Koska näin syntyy suuria katveja, yksi mittauskohde koostetaan käytännössä aina useista asemapisteistä. Asemapisteiden yhteensovittaminen on erityinen operaatio, mikä on yleensä suoritettava laitevalmistajan ohjelmalla. Tästä esikäsittelyvaiheesta ei päästä eroon. Fotogrammetrisessa ilmakuvauksessa vastaava esikäsittely tarkoittaa pinnan laskentaa valokuvien ja lennokin GPS-havaintojen perusteella. Yhdistämisen tuloksena syntyy yhtenäinen pistepilvi käytetyn koordinaattijärjestelmän mukaisessa todellisessa sijainnissa. Tällainen yhdistetty pistepilvi voidaan tuoda tietomalliin referenssiksi.

J. Pekkala on tutkinut 3D-laserkeilausaineiston hyödyntämistä inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmentamisessa [11]. Laserkeilausta hyödynnetään jo yleisesti maastomallien luomiseen, mutta toteutuneessa laadussa on paljon vaihtelua. Tutkimuksessa huomioitiin, että laserkeilatut kohteet vaativat joidenkin yksityiskohtien mittaamiseen perinteistä pistemittausta. Opinnäytetyössä on verrattu Liikenneviraston maastotietojen mittausohjetta ja yleisiä inframallivaatimuksia, jotka ovat joiltain osin ristiriidassa inframallien osalta. Laserkeilaamalla tuotetun

maastomallin laadunvarmistamiselle ei ole yhteisiä ja selkeitä kriteereitä. Pistepilven laadun varmentaminen liittyy valmistelemaan vaiheeseen eikä tietomallinnukseen, eikä sitä käsitellä tässä syvällisemmin.

Pistepilven sisäisen ja ulkoisen tarkkuuden välillä voi olla suuria eroja. Etenkin laserkeilaamalla tuotettujen pistepilvien sisäinen tarkkuus on yleensä erinomainen, eli mitatut pisteet sijaitsevat toisiinsa nähden oikeissa paikoissa suurella tarkkuudella. Sisäisesti tarkka pistepilvi voisi kuitenkin olla metrejä sivussa oikeasta sijainnistaan. Pistepilven ulkoinen tarkkuus merkitsee sen sijaintivirhettä absoluuttisesti oikeaan asemaan nähden. Jos mittausta on asemoitu oikein mutta siinä on paljon kohinaa, siinä voi olla hyvä ulkoinen tarkkuus ja huono sisäinen tarkkuus. Ulkoinen tarkkuus riippuu pitkälti asemointiin käytettyjen kiintopisteiden mittaustarkkuudesta. Kiintopisteiden sijainti pitää tuntea tarkkaan ja niiden tulee erottua pistepilvessä terävästi tarkan ulkoisen tarkkuuden saavuttamiseksi.

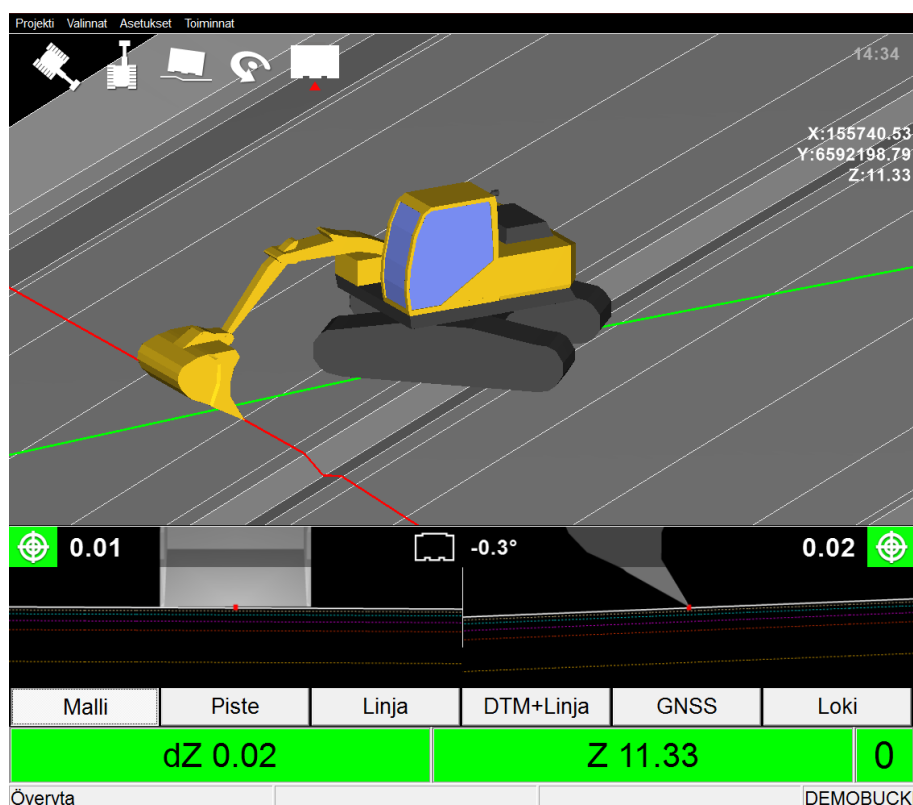
2.7 Koneohjausmalli

Koneohjausmallien yhteydessä täytyy pitää erillään käsitteet tietomalli, koneohjausmalli ja koneohjausjärjestelmä. Koneohjausjärjestelmä on työkoneeseen asennettu järjestelmä, jolla koneohjausmallia voidaan seurata työn toteutuksen aikana. Koneohjausmalli on toteutusmalli, joka sisältää vain halutut pinnat ja rakenteet niiden oikeassa sijainnissa. Tietomalli on suurempi suunnitelmakokonaisuus, josta koneohjausmalli voidaan luoda. Koneohjausmalli ei edellytä tietomallia, eikä tietomalli koneohjausmallia. Koneohjausta käytetään paljon kohteissa, joita ei ole suunniteltaessa tietomallinnettu.

Oikean ohjelmistointegraation tuloksena koneohjausmalli syntyisi tietomallisuunnittelun sivutuotteena, koska tietomalli yleensä sisältää jo kaiken koneohjausmallilta halutun geometrian. Jos tietomalliohjelmasta voi tallentaa työmallin koneohjausjärjestelmän tukemassa muodossa, on se suoraan malli koneenohjausjärjestelmään. Jos koneenohjausjärjestelmä ei tue suunnitteluohjelman tiedostomuotoja, täytyy toteutusmalli muuttaa erikseen koneenohjausjärjestelmään sopivaksi. Joidenkin järjestelmien koneohjausmalleja voidaan testata toimisto-oloissa simulaattorilla jossa käytetään samaa ohjelmaa kuin varsinaisissa koneohjausjärjestelmissä työmaalla. Kuvassa 6 on kuvaruutukaappaus Novatronin Landnova-simulaattorista. Näkymän pitäisi olla identtinen todellisessa järjestelmässä nähtävään verrattuna ja kaivinkonetta voidaan liikuttaa. Jos malli toimii simulaattorissa, sen täytyy toimia myös työmaalla.

Kivinen on tutkinut koneohjausta ja tietomallintamista maanrakennusurakoitsijan näkökulmasta [6]. Tutkimus on erityisen kiinnostava, koska se käsittelee asiakkaan näkökulmasta samaa aihepiiriä, mitä nyt tarkastellaan suunnittelijakonsultin näkökulmasta. Vuonna 2016 tehty tutkimus on myös edelleen hyvin ajankohtainen. Kivisen mukaan "kaikki haastateltavat arvioivat, että koneohjausjärjestelmää kannattaa

käyttää suurten hankkeiden lisäksi myös pienissä hankkeissa". Keskeiseksi teemaksi nousee sama toiminnan pirstaleisuus, johon kiinnitetään huomiota tässä työssä. Vaikka koko projektin tietomallinnus mahdollistaisi koneohjausmallien luonnin ja määrälaskennan automatisoinnin, tilaajaosapuolen toimintatavat tai osaaminen eivät siihen johda. Sen sijaan urakoitsijat tuottavat lähtötiedoista itse koneohjausmalleja ja tekevät määrälaskentaa omilla pintamalleillaan [6]. Tämä on usein konsultoivan maanrakennussuunnittelijan rooli. Urakoitsija haluaa koneohjausmallin oman työnsä edistämiseen, jolloin aliurakoitsija luo sen projektin lähtötiedoista. Samoja malleja käytetään määrälaskennan tukena.



Kuva 6. Kuvaruukaappaus Novatronin LandNova 14.1 koneohjausjärjestelmäsimulaattorista.

Helin on tutkinut koneohjauksen toteumatietojen käyttöä maanrakennustyömaan laadunvarmistamiseen [5]. Helin arvioi, että mittausalan ammattilaista tarvitaan työmailla edelleen tarkemmittauksiin ja taitorakenteiden paikalleenmittaamiseen, mutta merkintämittauksia voidaan korvata koneohjauksella. Huomionarvoisesti toteumatieto ja tarketieto ovat eri asiat. Tarketieto tarkoittaa koordinaattitietoa toteutuneesta rakenteesta, mutta toteumatieto voi olla muutakin kuin koordinaattitietoa, esimerkiksi testituloksia maan tiiveydestä.

Useissa tutkimuksissa on kiinnitetty huomiota suunnitelmaversioiden hallinnan haastavuuteen työmaalla. Koska koneohjausmallit voivat kulkea moniosaisen prosessin

kautta työkoneeseen, on haastavaa varmistua kaikilla olevan käytössä ajantasainen suunnitelma. Automaattisten pilvipalveluiden käyttöä ja kehitystyötä ehdotetaan usein versio-ongelmien ratkaisemiseksi. Tällöin työkone hakee automaattisesti uusimman version internet-palvelimelta ja ilmoittaa koneen käyttäjälle päivittyneistä malleista. Kirjoittajan mielestä viime vuosina on tapahtunut juuri tämänsuuntaista muutosta ja pilvipalveluita käytetään suunnitelmien jakamiseen jo yleisesti. Kehitys on selvästi vastannut työmaiden tarpeisiin. Muutaman vuoden päästä voisi olettaa kaikkien koneohjauslaitteiden hyödyntävän internet-yhteyttä suunnitelmien jakamiseen.

Koneohjausmallien mallinnustarkkuus ja koneohjausjärjestelmien mittatarkkuus vaikuttavat molemmat lopputuotteen tarkkuteen. Koneohjausjärjestelmän takkuus on toteuttajan vastuulla ja mallin takkuus on suunnittelijan vastuulla. Suunnitelmamallille on olemassa omia tarkkuusvaatimuksiaan, mutta käytännössä mallinnustyön ohessa ei ajatella toleransseja, vaan rakenteet mallinnetaan tarkasti idealisoituun aiottuun sijaintiinsa. Jos koneohjausmalli tehdään toteutussuunnitelmasta, on mallin tarkkuus periaatteessa virheetön. Malli edustaa rakennetta sellaisena kuin se olisi täydellisesti toteutettuna.

3. LÄHTÖTIETOJEN HANKINTA

3.1 Pohjatutkimukset

Pohjatutkimusten tarkoitus on selvittää maanpinnan alapuolinen rakenne ja ominaisuudet. Pohjatutkimukset voidaan karkeasti jakaa kolmeen kategoriaan: pohjatutkimuskairaukset, näytteenotto ja erilaiset havainnot (pohjaveden korkeus ja koekuoppa). Kairaukset tehdään kairauskoneella, jossa on automaattinen tiedon talteenotin. Automaattisesti tallennetun tiedon lisäksi kairaushenkilöstö kirjaa mittauspöytäkirjaan havainnot esimerkiksi silmämääräisistä maalajeista ja kairauksen päättymistavasta. Tieto kirjautuu riveittäin Infra- tai TEKLA-formaatissa syvyyden kasvaessa. Riveille tallentuu automaattisesti mittauslaitteiden mittausarvot ja sekaan voidaan lisätä huomioita.

Maaperänäytteet analysoidaan geoteknisessä maalaboratoriossa. Näytteistä tutkittavat ominaisuudet määritellään tutkimussuunnitelmassa. Yleisimpiä tutkimuksia ovat raekokojakauma, maaperän pilaantuneisuus sekä lujuus- ja jäykkyysominaisuudet. Joidenkin laboratoriotutkimusten tulokset voidaan tallentaa Infra-kairausformaatissa ja tuoda näin suunnitteluohjelmiin. Infra-formaatti tuntee monta eri laboratoriomääritettyä ominaisuutta, mutta tallennustapa dokumentoi nimenomaan testin lopputuloksen eikä määrittelyyn käytettyä dataa. Infra-formaatissa tallennettua laboratoriotulosta tuskin voidaan pitää riittävästi dokumentoituna tuloksena. Tavallinen laboratoriomittauspöytäkirja sisältää paljon kokeiden suorittamiseen liittyvää metatietoa, mikä voi olla tärkeää tulosten luotettavuuden arviointiin myöhemmin.

3.2 Laserkeilaus

Laserkeilaus on jo yleisesti käytetty menetelmä suurten alueiden mittatiedon keräämiseen. Laserkeilain on kone, joka mittaa pisteitä kaikilta suoran näköyhteyden päässä sijaitsevilta pinnoilta yhdellä skannauksella. Skannausprosessi itsessään kestää vain minuutteja välineistöstä ja mittausresoluutiosta riippuen. Lähes kaikki laserkeilauskohteisiin kuluva aika käytetään keilausta valmisteleviin töihin ja valmiin mittausaineiston käsittelyyn. Pistepilvien yhdistämiseksi kone yleensä asemoidaan tarkkaan erillisellä mittauksella asemapisteeiltä. Mahdolliset maastoon sijoitetut tähypisteet mitataan erikseen takymetrillä. Moni laserkeilain voi ottaa samanaikaisesti normaalia valokuvaa mittauksen yhteydessä ja yhdistää näin saadun väritiedon pistemittaukseen. Yhdistelmänä syntyy helpommin tulkitava maisema. Etenkin keilaimen perspektiivistä katseltuna aidot värit sisältävä malli näyttää saumattomalle

pallopanoraamalle. Valokuvaus kuitenkin yleensä hidastaa keilaimen toimintaa, eikä kaikissa ohjelmissa ole toiminnallisuutta värin esittämiseksi.

Laserkeilain koostuu laserlähteestä sekä lasersädettä ohjaavasta prismasta/peilistä, ”keilaimesta”. Lasermittaus on samanlainen aktiivinen mittaus kuin takymetrissä. Keilauksen voi suorittaa valaistuksesta riippumatta, mutta siroutumista aiheuttavat partikkelit, kuten sade tai sumu, häiritsevät mittauksia. Myös peilaavat pinnat aiheuttavat häiriöitä. Keilain pystyy osoittamaan mittauksen vain yhteen pisteeseen samanaikaisesti, joten ympäristön mittaus suoritetaan skannauksena. Keilain pyörii kierroksen ja mittaa näkyvät pinnat ympäriltään kiinteällä kulmaresoluutiolla. Pintaresoluutio riippuu kulmaresoluutiosta, etäisyydestä ja pinnan orientaatiosta keilaimeen nähden.

Maalaserkeilain asetetaan yleensä kolmijalalle mahdollisimman korkeaan asemaan maastossa. Kuvassa 7 on esimerkki Leican laserkeilaimesta. Yhden skannauksen aikana kone pyörii puolikierroksen. Yläosan pyörivä keilain suuntaa lasersäteen viuhkamaisesti ympäristöön. Koska yleensä ei saada näkymä koko mittauskohteeseen, yhdistetään useita keilauksia yhdeksi pistepilveksi. Yhdistäminen tapahtuu joko pistepilviä toisiinsa sovittamalla tai käyttämällä yhteisiä tukipisteitä. Jos mittaus halutaan sijoittaa oikeisiin absoluuttisiin koordinaatteihin, on jonkinlaisia tunnettuja tukipisteitä käytettävä joka tapauksessa. Pistepilven sisäinen tarkkuus on yleensä erinomainen ja etenkin saman asemapisteen tulosten voi olettaa heittävän vain millimetrejä. Ulkoinen tarkkuus riippuu pitkälti tunnettujen tukipisteiden mittaustarkkuudesta.



Kuva 7. Leican maalaserkeilain kolmijalalla

Syntynyt pistepilvi on suora mittaus todellisesta pinnasta. Pistepilvien hyödyntämiseksi täytyy tulkita mitä pintoja pisteet esittävät. Osa pisteistä voi myös olla virhelähteiden aiheuttamaa kohinaa tai heijastuksia. Jos pintamalli luodaan käsin, tekijä usein tulkitsee pinnat silmämääräisesti mallinnusprosessin aikana. Jos pintamalli generoidaan pisteistä, täytyy pistepilveä luokitella/rajata oikean aineiston valitsemiseksi. Käytettävissä olevan automatiikan taso riippuu täysin ohjelmistosta. Paljaassa maastossa pistepilven tiheys tekee tulkinnasta helppoa.

3.3 UAV-ilmakuvaus

UAV-ilmakuvauksessa etäohjattu tai itseohjautuva pienoiskopteri ottaa mittausalueesta normaaleja optisia valokuvia eri kulmista. Kopteri seuraa omaa sijaintiaan GPS-paikannuksella ja tallentaa kuljetun reitin. Pinnanmuodot voidaan myöhemmin laskea ohjelmistollisesti otetuista kuvista ja reitistä. Jotta tarkkuutta voidaan mitata ja kuvat asettaa oikeisiin koordinaatteihin, sijoitetaan maastoon tukipisteitä joiden tarkka sijainti tunnetaan. Koska UAV-kopteri lentää verrattain lähellä maanpintaa, saatu tarkkus voi olla laskennallisesti jopa yksitaiten senttimetrien luokkaa. Todellisen tarkkuuden varmentaminen on haastavaa.

Koska pistepilvi luodaan epäsuorasti tietokoneohjelmalla, UAV-kopterin aineistoa ei voi mitenkään tuoda suoraan suunnitteluohjelmaan. Kuvien käsittelyn tuloksena syntyy pistepilvi, joka vastaa rakenteeltaan paljon laserkeilattua pistepilveä. Pistepilven tiheys riippuu vain ohjelmistossa käytetyistä asetuksista, koska säännöllisellä pisteverkolla interpoloidaan ohjelman sisäisesti tulkitsemaa jatkuvaa pintaa. Saadut pisteet eivät edusta todellisia mitattuja koordinaatteja samassa mielessä kuin laserkeilauksessa. Pistepilven sijaan olisi mahdollista tuoda muodostettu pinta 3D-suunnitteluohjelmaan valmiina kolmioverkkona. Tämä edellyttää vain sopivaa formaattitukea käytetyiltä ohjelmilta. Pisteaineiston muokkaus ja yhdistely on kuitenkin paljon helpompaa kuin valmiiden kolmioverkkojen.

Ilmakuvausaineiston sisäisen tarkkuuden pitäisi olla hyvä myös ilman tunnettujen tukipisteiden käyttöä. Sisäisesti tarkassa aineistossa pinnan topologia on oikean muotoinen, mutta sen absoluuttinen sijainti ei ole tarkka. Absoluuttisen sijainnin epätarkkuudet eivät vaikuta laskettaviin tilavuuksiin tai pinta-aloihin, paitsi jos tilavuus pitäisi laskea johonkin absoluuttiseen tasoon asti. Kuitenkin sijainniltaan epätarkan aineiston sijoittaminen tietomalliin/lähtötietomalliin vaikuttaisi kaikkeen suunnitteluun missä aineistoa referoidaan. Sekaannusten välttämiseksi tällainen aineisto kannattaisi pitää omassa mallissaan ja identifioida selvästi.

3.4 Takymetrimittaus

Takymetriä käytetään edelleen yleisesti työmaamittauksiin. Koje asemoidaan tunnettujen kiintopisteiden mittauksella, minkä jälkeen mittaus tapahtuu yksi piste kerrallaan. Takymetri soveltuu hyvin paikalleenmittaukseen, eli tunnettujen koordinaattien merkitsemiseen maastoon. Massiivisia mittausaineistoja tuottavat uudemmat menetelmät eivät yleensä sovellu paikalleenmittaukseen lainkaan. Esimerkiksi laserkeilaimen asemointi tapahtuu periaatteessa vasta jälkikäsittelevaiheessa kauan mittauksen jälkeen, vaikka kiintopisteitä oltaisiinkin mitattu jo mittaustyön aikana. Hyvin pienissä mittauskohteissa takymetri on tehokas nopean käyttöönnoton vuoksi.

Nykyään takymetri asemoidaan usein satelliittipaikannusta käyttäen. Satelliittipaikannetut kiintopisteet mitataan riittävän kaukaa takymetriasemasta, jotta mittavirheiden vaikutus takymetrin omaan asemointiin olisi mahdollisimman pieni. Näin asemoitu koordinaatisto on usein tarkempi kuin kuntien tarjoamat kiintopisteet. Jotta koordinaatisto olisi paikallisesti johdonmukainen, koordinaatisto pyritään kuitenkin lopulta yhtenäistämään kuntien käyttämien verkostojen kanssa. Satelliittimittauksen tarkkuudesta on myös vaikea saada objektiivista varmistusta työn aikana. Takymetri itsessään on äärimmäisen tarkka koje asemointitarkkuutensa puitteissa.

Siinä missä pistepilviä tuottavat menetelmät tuottavat automaattisesti massoitain kategorioimattomia pisteitä, takymetrimittauksissa mittaaaja kirjaa pisteen tyypin itse. Mittauksissa pyritään käyttämään Liikenneviraston koodausjärjestelmää [8]. Käytännössä mittaaaja usein keksii kuvaavan nimikkeen tarpeen vaatiessa. Tietokoneohjelmat voivat käyttää nimikkeistön mukaisia koodeja pisteiden kuvaamiseksi oikeilla piirtomerkeillä.

4. POHJARAKENNESUUNNITTELUN OMINAISPIIRTEET

4.1 Pohjarakentaminen

Pohjarakentamisella viitataan tässä tekstissä talonrakentamisen maarakentamiseen. Tyypillisiä talonrakentamisen maarakentamisen suunnittelukohteita ovat perustuskaivannot, viemäri- ja johtokanaalit, louhintasuunnitelmat, pinnantasaukset, pohjanvahvistus ja määrien seuranta. Toimeksiannoille on tyypillistä pienet urakat, missä yksi suunnittelutaho voi laatia vain yksittäisen osasuunnitelman. Taratest Oy tekee sekä kenttätutkimuksia että suunnittelutyötä. Tällöin suunnittelutoimeksianto liittyy usein samaan työvaiheeseen kuin mittaustoimeksianto. Näin tapahtui myös kaikissa tässä työssä tutkituissa toimeksiannoissa.

4.2 Erot väylä- ja pohjarakentamisessa

Tekla Civil -ohjelmisto on luotu ensisijaisesti väylärakenteiden suunnitteluun. Väylärakenteita voidaan suunnitella parametrisesti. Tällöin väylälle määritellään poikkileikkauksen rakenne ja määritetty rakenne sidotaan erilliseen mittalinjaan. Ohjelma luo todelliset pinnat koko väylälle automaattisesti. Rakenteeseen tehdyt muutokset voidaan päivittää automaattisesti pintamalliin. Aluerakenteiden suunnitteluun ei ole vastaavia parametrisiä työkaluja, vaan pinnat muotoillaan käsin. Työkalut ovat periaatteessa samat, mutta rakenteen taiteviivoja ei voi sitoa parametrisesti toisiinsa, joten jokaisen muutoksen vaikutukset on mallinnettava käsityönä.

Väylärakennekohteet ovat usein hyvin mittavia, joten niiden suunnitteluprosessien kehitykseen on panostettu suuresti. Liikennevirasto julkaisee jatkuvasti tarkkaa ohjeistusta alan toimintaan, ja julkisilla tahoilla on tahtoa edistää uusia teknologioita. Tämän seurauksena toiminta on hyvin standardisoitua. Yleiset Inframallivaatimukset on kirjoitettu väylärakentajien perspektiivistä. Työskentelyn oletetaan olevan tietomallipohjaista alusta alkaen, kohteilla oletetaan olevan tietomallikoordinaattori ja tiukat dokumentointi- ja muotoiluvaatimukset ovat edistämässä usean suunnittelutahon yhteistyötä. Pohjarakennesuunnittelussa näin toimittaisiin vain äärimmäisen suurissa kohteissa ja keskimääräinen toimeksianto on merkittävästi suppeampi. Samoin InfraBIM-nimikkeistö kuvaa selkeiden väylien rakenteita. Erilaisten tien rakennepintojen nimeämiseen on paljon tarkkoja koodeja, mutta kaivantojen pinnoille on vain muutama hyvin yleisluontoinen koodi.

Suurissa väylärakennehankkeissa asiakas voi toimittaa lähtötietomallin konsultoivalle suunnittelijalle. Käytännön pohjarakennesuunnittelussa lähtötietomallia ei usein ole, vaan sellainen koostetaan lähtötiedoista ja omasta mittaustiedosta. Konsultoiva suunnittelija tekee osasuunnittelua tietomalliavusteisesti, ilman ulkoista koordinoitua. Tällöin on mahdollista hyötyä vain joistain tietomallisuunnittelun eduista. Ajan kanssa erot tulevat varmasti kapenemaan ja useampia pohjarakennesuunnittelukohteita aletaan toteuttaa täysin tietomallipohjaisesti. Tietomalleja osittain hyödyntävien suunnittelijoiden on helppoa hyötyä yksittäisissä kohteissa, missä lähtötietoa on saatavilla tietomallimuodoissa.

4.3 Pistepilvien käyttö pohjarakennesuunnittelussa

Taratest Oy on tehnyt paljon rakennusmittauksia maalaserkeilauksella, mutta ne eivät kuulu tämän työn piiriin. Rakennusten tapauksessa mittauksista on yleensä tehty tasoleikkauskuvia mittakaavassa tai kolmiulotteisia IFC-malleja. Joskus asiakkaat ovat halunneet 3D-malleja seinälinjoista, tien pinnasta tai muista rakenteista.

Koska pistepilviä tuottavat mittaukset mittaavat lähes poikkeuksetta ulkopintoja, soveltuu pistepilvi ensisijaisesti maaston kartoittamiseen. Aineisto soveltuu pintamallin luontiin suurelta alueelta. Hyvän sisäisen tarkkuuden vuoksi pistepilviä voidaan käyttää tarkkaan määrälaskentaan. Maa- ja kiviaineksen ottoalueet on tehokasta mitata koko ottoalueeltaan useassa eri vaiheessa. Mittauksista voidaan laskea halutut osat ja ne dokumentoivat työmaan tilan mittausajankohtana. Avoimeksi raivattu kallio ja suuret maakasat ovat ideaalinen mittauskohde laserkeilaukselle ja UAV-kuvaukselle. Kasan näkyvä ulkopinta sisältää kaiken mitä kohteesta halutaan mitata. Monimutkaisemmissa kohteissa pistepilviä käytetään yhdessä muiden mittauksien kanssa. Laserkeilauksella ja UAV-ilmakuvauksella mitataan samoja kohteita, jotka oltaisiin mitattu pisteittäin GPS- tai takymetrimittauksena, mutta menetelmillä saavutetaan nopeus etua suurissa kohteissa ja tuotetaan paljon tiheämpää mittausaineistoa. Joissain tapauksissa asiakas on halunnut pelkän pistepilven omaan käyttöönsä.

Laserkeilausaineistosta saadaan jalostettua myös hyvin tarkkoja karttoja pinnan tasaisuudesta. Jos pinnan korkeutta halutaan verrata ympäröivän pinnan korkeuteen, tarvitaan mittausdataa suuret määrät. Pistepilven tiheys kompensoi pinnan hienorakenteisesta rosoisuudesta johtuvaa mittauskohinaa. Taso saadaan laskettua pienelläkin alueella suuresta määrästä pisteitä ja verrattua vastaavaan tasoon ympäristössä. Näin on mitattu maanvaraisten laattojen tasaisuutta millimetrin kymmenesosien tarkkuudella.

5. CASE 1: MAAPERÄMALLI JA POHJATUTKIMUKSET

5.1 Toimeksiannon esittely

Kohteeksi valikoitui toimeksianto Kanjonin koulun pohjatutkimuksista Tampereen Pohjois-Hervannassa. Kanjonin koulun koulurakennuksen viereen pystytetään uusi siirtokelpoinen päiväkotitoiminta. Samalla tontilla on tarvetta sekä piha-alueen rakennettavuusselvitykselle että uuden päiväkodin alueella perustamistapasuositukselle. Vanha koulurakennus mahdollisesti puretaan myöhemmin. Kuvassa 8 on esitetty pohjatutkimuskartta ilmakuvan päällä sekä vain pohjatutkimuksista muodostettu maanpintamallin kolmioverkko. Muusta mittausaineistosta luotu maanpintamalli olisi paljon tarkempi.



Kuva 8. Kanjonin koulun pohjatutkimukset ja maanpintamallin kolmioverkko

Kohteeseen ohjelmoitiin alustavasti 34 puristin-heijarikairausta, joista suurin osa uuden päiväkodin suunnitelluille seinälinjoille ja loput tontin muulle alueelle. Lisäksi kalliopinta varmistetaan porakonekairauksella puristin-heijarikairauksen päättymissyvyyden ollessa alle kolme metriä. Kohteeseen oltiin laadittu alustava pohjatutkimussuunnitelma AutoCAD-piirroksena. Sama tutkimusohjelma luotiin Tekla

Civilillä ja koko projekti maaperämalliin asti haluttiin toteuttaa Tekla Civil - tietomallikonaisuutena.

5.2 Toteutustapa ennen mallintamista

Perinteisesti pohjatutkimuksien perusteella ei ole luotu lainkaan pintamallia, vaan pohjatutkimuksia käyttävä suunnittelija työskentelee suoraan tutkimuspisteiden pohjalta. Tutkimustuloksia on voitu tulkita suoraan tai niistä on koitettu muodostaa taso- ja leikkauskuvia tulkinnan helpottamiseksi. Tapauskohtaisesti tämä voi olla hyödyllistä, koska monimutkaiset tutkimustulokset eivät aina yksinkertaistu idealisoiduksi pintamalliksi. Kairausten perusteella luodut maalajirajapinnat voivat risteillä tai niissä voi olla aukkoja. Rajapintojen muodostamisen haasteita on käsitelty kappaleessa 2.5. Joissain pisteissä voi vaikuttaa olevan useita vuorottelevia maalajeja, mutta lukuisien rajapintojen mallintaminen ei ole mielekäästä.

Perinteisesti kairausten ohjelmointi ja saadun tiedon käsittely on tehty hyvin manuaalisesti. Tutkimusohjelman laatija ohjelmoi tutkimuspisteet haluttuihin koordinaatteihin, mistä luodaan pistetiedosto työmaakäyttöön. Tutkimuspisteen maastoonmerkitsemisen yhteydessä mitataan sen todellinen sijainti. Tämän jälkeen suoritetaan maastotyöt merkatuissa sijainneissa. Havainnoista syntyy koordinaatiton kairaustiedosto. Lopulta tutkimuspisteen todellinen sijainti lisätään käsin kairaustiedostoon. Tällainen manuaalinen tiedostonkäsittely halutaan minimoida prosessissa. Kokemuksen mukaan prosessi on hitauden lisäksi virhealtis, koska tekijä joutuu kopioimaan samannäköisiä koordinaattirivejä käsityönä.

Tekla Civil tarjoaa iteratiivisemmän tavan prosessin suorittamiseen. Suunnittelija voi merkitä tutkimuspisteet kartalle ja pisteistä saa tallennettua suoraan pistekoordinaattilistan. Tämän jälkeen jo ohjelmoituja pisteitä voi päivittää uudella tiedolla. Pohjatutkimusohjelmaa voidaan päivittää paikalleenmittauksilla. Kun kairaukset on tehty, kairaushavainnot voidaan päivittää ohjelmoitujen pisteiden tiedoiksi.

5.3 Tutkimusohjelma ja kairausten käsittely

Pohjatutkimusten työjärjestys toteutettiin perinteisellä tavalla. Tutkimusohjelman laadintavaiheessa tutkimuspisteet sijoitettiin suunnilleen arvioituun sijaintiin kartalla. Nämä korkeustiedottomat suunnittelupisteet toimivat mittamiehen ohjeistuksena. Mittaaja tarkasti maastossa todellisen sijainnin tutkimukselle, mittasi ja merkitsi sen. Tutkimusohjelmaa päivitettiin tämän jälkeen aloituskoron sisältävillä todellisilla tutkimuskoordinaateilla.

Normaalin työjärjestyksen mukaisesti yrityksen mittaaja kävi työmaalla merkitsemässä tutkimuspisteet maastoon ja mittaamassa merkitsemänsä pisteen koordinaatit. Näistä

koordinaateista syntyi Geonic-tiedosto, jossa tutkimuspisteet on yksilöity tutkimustavan ja yksilöllisen pistenumeron avulla. Pistenumeronä käytetään samaa kuin ohjelmoiduissa tutkimuksissa. Ohjelmoituihin pisteisiin haluttiin päivittää uudet koordinaatit Geonic-mittauksista ennen varsinaisten kairausten suorittamista. Näin tutkimuksista on ajantasainen tutkimussuunnitelma.

Tietojen automaattinen päivitys onnistui ohjelmassa, mutta vaati työtavan hienovaraista mukauttamista alusta alkaen. Toive olisi voida tehdä prosessi ilman tarvetta vanhojen työmaapuolen työtapojen muuttamiseen. Toisiaan vastaavien pisteiden tunnistamiseen käytetään ohjelmassa kolmea eri tietuetta. Perinteisessä mittauskäytännössä tyydytään kuitenkin vain kahteen, eli pistenumeroon ja tutkimustapaan. Infra-kairaustiedostojen normaalin koodautumisen seurauksena niiden kolmas parametri ei ole numeroarvo vaan väliviiva. Tätä väliviivaparametria on pakko käyttää tutkimusten ohjelmoinnista asti tai automatiikka ei toimi. Geonic-tiedostojen sisältö vaatii myös yleensä pientä muokkausta, mutta tältä on mahdotonta välttyä, koska eri mittalaitteissa on pieniä eroja toiminnallisuudessa.

Erikoisesti ohjelma sisäisesti pyöristää pohjatutkimuksien päivittämiseksi luetut Geonic-koordinaatit senttimetrin/kahden desimaalin tarkkuudelle. Näin siitä huolimatta että koordinaatit esitetään joka näkymässä kolmen desimaalin tarkkuudella. Pohjatutkimusten kannalta senttimetrin tarkkuus on varmasti riittävä, mutta kerralleen ohjelmaan luetut ja sieltä takaisin kirjoitetut koordinaatit eivät olekaan täsmälleen entisensä. Tämä voi aiheuttaa sekaannuksia mittaustiedostoja vertailtaessa. Näin aluksi kävikin projektin aikana, kun merkkieron takia luultiin tietokannassa olevan edelleen vanhat koordinaatit.

Pohjatutkimukset-sovelluksessa toivoisi olevan vastaava tapa ryhmitellä aineistoa omille tasoilleen tai omiksi suunnitelmikseen kuin muissa ohjelman sovelluksissa. Näin tutkimuksista osan saisi kytkettyä kokonaan pois ja niistä voisi tehdä kopioita ennen muokkausta. Vaikka ohjelmassa on kaksikin tapaa pohjatutkimusten ryhmittelyyn, kaikki tutkimuspisteet ovat pohjimmiltaan osa yhtä kokonaisuutta. Kahdella tutkimuspisteellä ei voi olla samat yksilöivät tunnukset missään tapauksessa. Ohjelmoiduista tutkimuspisteistä ei saa tehtyä ohjelman sisäistä kopiota ennen niiden päivitystä. Tutkimukset olisi tietenkin mahdollista kirjoittaa tiedostoon ja lukea tarvittaessa takaisin ohjelmaan. Tämä ei ole täysin tyydyttävä ratkaisu manuaalisen tiedostonhallinnan ja tutkimusten vertailun vaikeuden johdosta. Toisaalta nykyinen toiminnallisuus ohjaa tekemään mallista ristiriidatonta ja selkeää.

Aluksi vaivaa aiheutti myös erikoinen vaatimus Geonic-tiedostojen muotoilulle. Tutkimustapaa ei voinut kirjoittaa tiedostoon selkokielisellä kairaustunnuksella, vaan tutkimustapaa vastaavalla nelinumeroisella koodilla. Trimble kuitenkin päivitti tämän ongelman ohjelmasta pian sen jälkeen kun asiasta oltiin tiedusteltu. Versiota, jossa

ongelma on korjattu, ei otettu käyttöön diplomityön kirjoittamisen aikana, mutta jatkossa ongelma on kuitenkin ratkaistu.

Tutkimusalueella oltiin tehty puristin-heijari- ja porakonekairauksia. Porakonekairauksilla varmistettiin kallion pinta kun puristinheijarikairaus päättyi alle kolmeen metriin. Tämän vuoksi porakonekairaukset on tehty samoista pisteistä, joista on jo tehty puristinheijarikairaus. Molemmassa kairausprosessissa kairaushenkilöstö on kirjannut maalajihavaintoja kairauksen aikana. Näin samankin pisteen havainnot ovat välillä ristiriidassa keskenään.

Kairauksia oli lopulta 41 kappaletta. Kalliopintahvaintojen lisäksi pisteistä oltiin havainnoitu täytemaata, humusta, silttiä, moreenia, silttimoreenia ja savea. Suurehkosta tutkimusmäärästä löytyy helposti monta vaikeasti tulkittavaa kohtaa. Kalliopinta on havainnoitu ja varmistettu hyvin johdonmukaisesti. Moreenihavaintoja oli monissa pisteissä, mutta eriävissä kerrosjärjestyksessä. Silttihavaintoja tehtiin koko alueella vain yhdestä pisteestä.

Kairauskoneiden elektronisesti tallentamat tulokset koottiin Infra-kairausformaattiseen tiedostoon. Joidenkin mittalaitteiden osalta tämä vaati muutoksen valmistajan omalla ohjelmalla. Työtä varten varmistettiin kairautiedostojen noudattavan Infra-kairausformaatin version 2.3 muotoiluvaatimuksia kaikilta osin. Maalajit on merkitty VTT:n geoteknisen maalajiluokituksen mukaisilla lyhenteillä ja päättymistavat Infra-kairausformaatin virallisilla lyhenteillä. Tällaisen aineiston pitäisi vastata normaalia ajantasaista pohjatutkimustietoa kenen tahansa tuottamana.

Kairautietojen tuonti Infra-pohjatutkimustiedostosta ohjelmaan onnistui hyvin helposti. Alkuperäisestä aikomuksesta päivittää suunniteltujen tutkimusten tietosisältöä lopullisilla kairauksilla kuitenkin luovuttiin. Päivitysoperaatio itsessään onnistui hyvin, kun kaikki kolme vaadittua tunnusta oli asetettu oikein. Työmaalla oltiin kuitenkin tehty enemmän kairauksia kuin alunperin oltiin ohjelmoitu, koska matalat kalliohavainnot varmistettiin porakonekairauksilla. Uusien kairausten ilmestyminen tiedostoihin ja tarkkojen tunnusten vaatimus teki päivitysprosessista kaoottisen. Todettiin haastavaksi varmistua kaiken tiedon kirjautuneen ohjelmaan oikein. Lisäksi mallista menetetään tieto alkuperäisestä tutkimusohjelmasta tutkimuspisteiden päivityksen yhteydessä. Koska ohjelma erottelee havainnolliset ja havainnottomat tutkimuspisteet, päätettiin suunnitellut ja toteutetut tutkimukset pitää prosessissa täysin erillään. Näin tutkimusohjelma säilyy osana mallia, eivätkä ohjelmoidut ja mitatut pisteet sekaannu toisiinsa.

5.4 Maaperämalli

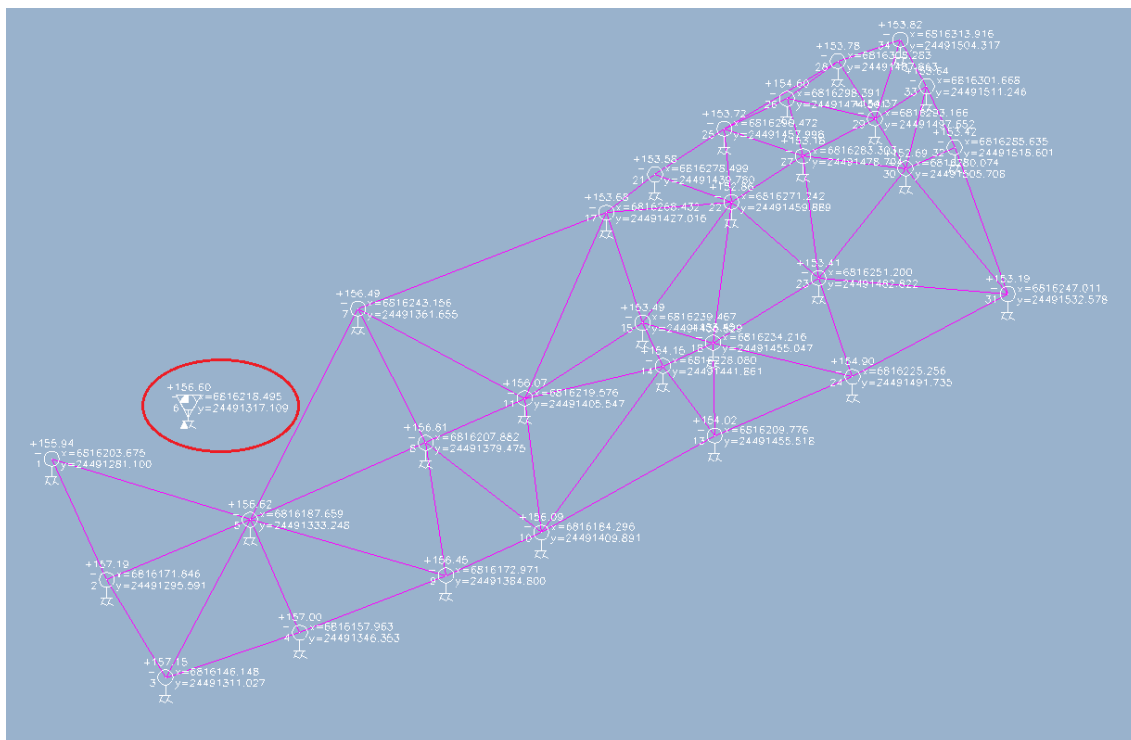
Pohjatutkimusten perusteella haluttiin luoda tontin maaperämalli. Maaperämalli sisältää osamalleina ylärajapinnat havaituille maalajikerroksille, kalliopintamallin sekä tulkinnallisesti maanpintamallin. Maaperämallin täytyy olla loogisesti ristiriidaton, jotta siitä on hyötyä määrälaskennassa ja suunnittelussa.

Kalliopinta

Tavallisesti vain porakonekairauksella varmistettua pistettä käytetään kalliopinnan sijainnin osoittamiseen. Muiden tutkimustapojen päättymistapaa ei ole mahdollista erottaa varmuudella lohkarren ja kallion väliltä. Käytännössä kuitenkin usein muiden kairaustapojen päättymissyvyyttä halutaan käyttää hyödyksi kallipinnan arvioinnissa, mikäli päättymissyvyydet vaikuttavat ympäröivien porakonekairausten perusteella loogisille. Etenkin, jos erityyppinen kairaus on tunkeutunut syvemmälle kuin ympäröivät porakonekairaukset, on kallio tässä pisteessä varmuudella alempana. Näin saadusta lisätiedosta voi olla paljon hyötyä ilman kalliita lisäkairauksia.

Pohjatutkimukset-sovelluksessa on työkalu kairausten käsittelemiseen rajapintojen löytämiseksi. Työkalu luo hajapisteen rajapinnan syvyydelle kairauksen tasosijaintiin. Hajapisteeet muodostavat kolmioverkon, pisteiden toimiessa kolmioiden kärkipisteinä. Kalliopinnan kolmioverkko on kalliopinnan korkeusmalli. Kaikki pinnat yhdessä muodostavat maaperä- ja maanpintamallin. Kalliopinnan määrittämiseen työkalu käyttää oletuksena vain porakonekairausten kalliopintahavaintoja. Koska porakonekairauksia on tehty vain joistain pisteistä, yksittäisten havaintojen etäisyys kasvaa paljon tutkimustiheyttä suuremmaksi. Alun 40 metrin kolmiosivun pituus ei riittänyt kaikkien havaintojen kolmiointiin. Koko tutkimuskenttä saatiin kolmioitua vasta 90 metrin sivupituudella. Ei varmasti ole luotettavaa olettaa kalliopinnan muuttuvan lineaarisesti näin pitkällä välillä. Lyhemmässä sivupituudessa pysyminen jättää malliin suuria aukkoja, vaikka kalliopinta varmasti jatkuu kaikkialla.

Seuraavaksi kalliopinta haluttiin muodostaa myös muiden tutkimustapojen päättymistapoja hyödyntäen. Kuvassa 9 on punaisella korostettu yksittäinen puristin-heijarikairaus joka asettuu sijainniltaan juuri kolmioverkon suurimpaan väliin. Tämän tutkimuspisteen käyttö johtaisi tasavälisempään kolmiointiin. Kaikkia kairauspisteitä hyödyntämällä 50 metrin sivunpituus riittäisi koko tutkimusalueen kolmiointiin. Työkalussa on mahdollisuus käyttää kaikkia sellaisten kairausten päättymissyvyyksiä, joiden tunnuksiksi on merkitty "KA" eli kallio. Kuitenkin Infra-kairausformaatin 2.3 mukaan KA-päätettä käytetään vain varmistetuista kalliohavainnoista, eli käytännössä porakonekairauksista. Vain kallionäytekairaukset tai koekuopista havaittu kalliopinta voisivat tuoda lisää KA-päätymishavaintoja. Yleinen päättymistapa muille kairauksille on KL-merkintä, joka tarkoittaa kiveä, lohkarretta tai kalliota. Nyt valikoiduissa kohdissa haluttiin käyttää myös näitä havaintoja.



Kuva 9. Porakonekairaukset ja kalliopinnan kolmioverkko.

Työkalulla voi etsiä mitä tahansa maalajirajoja ja syöttää pisteet mille tahansa pintamallille. Ongelmallisesti kairauksen päättymistapa ei ole maalaji, eikä työkalulla voi etsiä päättymispisteitä. Ainut tapa KL-päätteisten kairausten saamiseksi kalliopintatasolle olisi manuaalisesti muuttaa päättymistapa jokaiseen kairaukseen. Päättymistavan voi muuttaa tiedoston luvun yhteydessä, mutta sama päättymistapa kirjautuisi kaikkiin tutkimuksiin. Vaihtoehtoisesti syvyydet voisi laskea piste kerrallaan käsin ja pisteet luoda pinnalle yksittäin. Mikään vaihtoehtoista ei ole oikein tyydyttävä. On erikoista, että päättymissyvyyksiä ei saa kirjattua automaattikalla, kun maalajirajoja voi etsiä vapaamuotoisilla tunnuksilla. Syvimmän maalajin alapintaa voitaisiin käyttää samassa merkityksessä kuin kalliopintaa jos syvin laji olisi kaikkialla sama. Näin ei kuitenkaan ole juuri koskaan.

Koska tässä tapauksessa porakonekairaukset oltiin tehty samoihin pisteisiin kuin puristin-heijarikairaukset, vain muutama puristin-heijarikairaus ei asettunut porakonekairausten muodostaman kolmioverkon kärkipisteisiin. Pisteiden piirto tutkimustyypeittäin kolmioverkon päälle teki kyseisten kairausten paikallistamisen helpoksi. Valittujen tutkimusten päättymispisteet päätettiin lisätä malliin käsin. Operaatio kirjattiin myös toimeksiannon tietomalliselostukseen.

Menetetty maalajirajat

Koska silttiä havaittiin vain yhdessä pisteessä, ei sitä voida sisällyttää malliin mitenkään. Yhtä tai kahta pistettä on mahdotonta kolmioida. Suunnittelija joutuu myös miettimään onko havainto oikea jos se on tehty vain yhdestä kohtaa. Pintakerrosten kohdalla

eksoottisia havaintoja syntyy vielä herkemmin. Jos yksi piste on kairattu rakennetulla kulkuväylällä, sisältää se aluksi täyttömaata tien rakennekerroksista. Missään ympäröivässä pisteessä samaa kerrosta ei välttämättä ole. Tällaisten havaintojen tieto katoaa mallista kokonaan.

Moreenin yläpinta

Seuraavaksi muodostettiin moreenikerroksen yläpinta. Moreenia havaittiin useimmista tutkimuspisteistä, mutta välissä on myös useita tutkimuspisteitä ilman moreenihavaintoa. Muutamassa pisteessä on havainto siltimoreenista pekän moreenin sijaan. Maaperämallissa on käytännössä välttämätöntä yhdistää saman päämaalajin havainnot yhdeksi kerrokseksi. Geoteknisessä maalajiluokituksessa on esimerkiksi seitsemän eri maalajia joiden päämaalaji on siltti ja kymmenen maalajia joiden päämaalaji on moreeni. Maalajitulkinnat ovat yleensä kairaajan tekemiä ja samassa kohteessa voi olla useita kairaajia. Tarkkentavien maalajien huomiointi johtaisi sirpaleisiin havaintoihin, joita ei voida kolmioida, sekä aukkoihin päämaalajin rajapinnassa. Moreenikerros sijaitsee havainnoissa yleensä suoraan peruskallion yläpuolella. Tämä aiheuttaa heti vaaran moreenin yläpinnan kolmioitumisesta kallion lävitse mikäli maalajin havainnot ovat harvempia kuin kallion. Ongelmaa pahentaa tontin maakerroksen ohuus. Onnekkaisesti kalliopintamallista muodostui hyvin tasainen koko alueella, mikä puolestaan pienentää todennäköisyyttä ristiinkolmioitumiseen.

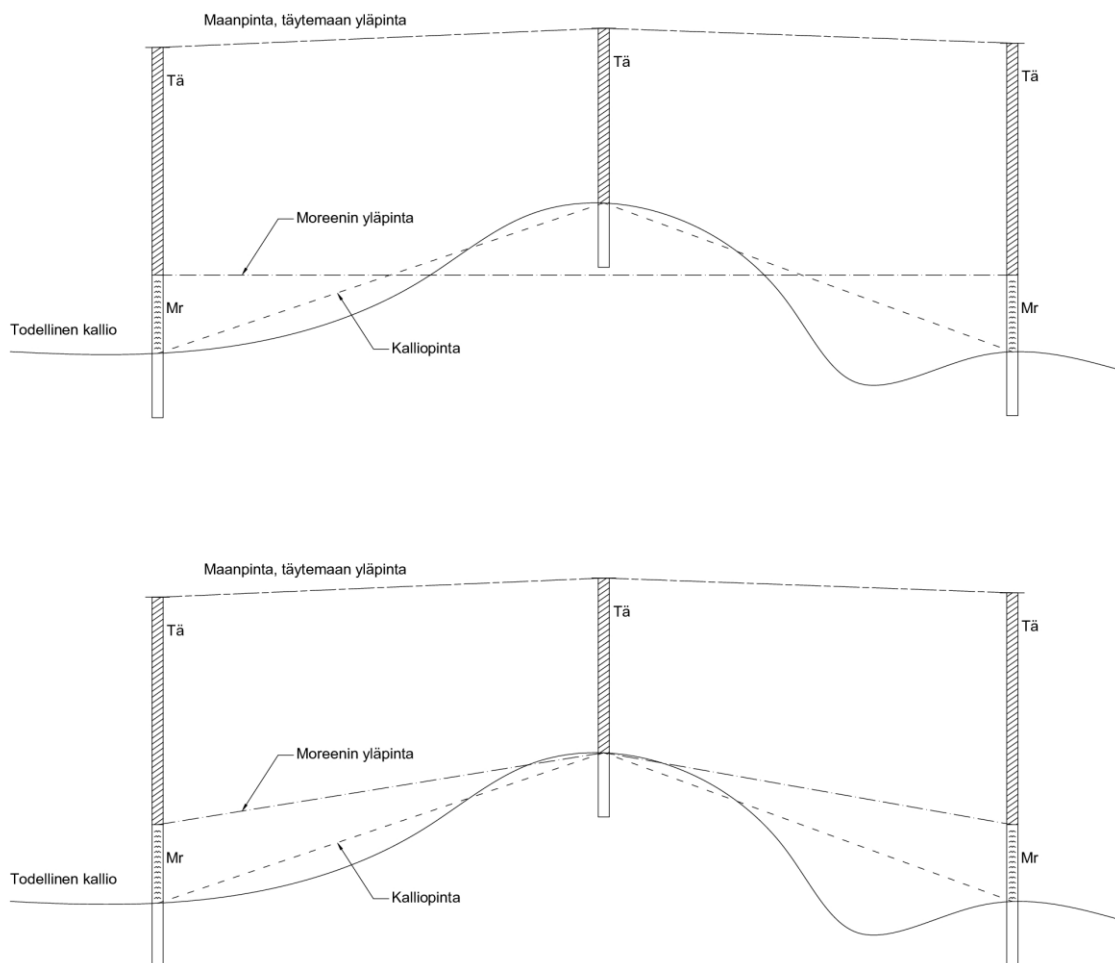
Aineiston porakonekairaukset on tehty aina samassa pisteessä kuin aiempi puristin-heijarikairaus. Useissa pisteissä näiden kairausten välillä ilmeni erilaisia ristiriitoja. Esimerkiksi puristin-heijarikairauksen havainnoissa on todettu moreenikerros kallion päällä, mutta porakonekairauksessa materialia on merkitty täyttömaaksi pohjaan asti. Puristin-heijarikairauksta voisi pitää tarkempana määritysmenetelmänä ja maalajit etsiä vain niistä. Todellisuudessa asia ei kuitenkaan ole yksiselitteinen. Porakonekairaukset on tehty myöhemmässä vaiheessa, jolloin kairaushenkilöstöllä on jo odotus alueen maakerroksista. Tarkkaavainen kairaaja voi havaita tutun maalajikerroksen joka aiemmin jäi huomioimatta. Jos ympäröivällä alueella on havaittu jokin maalaji, on epätodennäköistä, että kerroksessa on aukko yhden tutkimuspisteen kohdalla. Tällöin suunnittelija voi pitää kerrosta lähes varmana, jos se on havaittu toisessa saman pisteen kairauksista. Pienemmissä kohteissa suunnittelija voi pohtia pistekohtaisia tulkintoja, mutta satojen kairausten yhteydessä se ei ole realistista.

Työn aikana päädyttiin kompromissimenetelmään. Rajapintoja haettiin kaikista kairauksista, jolloin rajapinnalle syntyy piste, jos edes toisessa kairauksista on tehty maalajihavainto. Kaikkien pintojen luonnin jälkeen tarkasteltiin käsityönä ne tutkimuspisteet, joiden luona rajapinnat leikkaavat. Näin saadaan säilytettyä mahdollisimman paljon tietoa alkuperäisistä kairauksista ja kohdistettua manuaalinen työ ongelmakohtiin. Menetelmä ratkaisee kuitenkin vain tietynlaisten ristiriitojen aiheuttamat ongelmat. Yhden pisteen ristiriitaisista havainnoista mikään ei jää

käyttämättä. Järjestystään vaihtavat rajapinnat aiheuttaisivat kuitenkin paljon vaikeammin ratkaistavaa ristiinkolmioitumista.

Ongelmallisesti ohjelmassa voi hakea maalajeja vain tarkalla tunnuksella eikä päämaalajin mukaan. Kaikki tarkennetut maalajit täytyy muistaa hakea erikseen. Ohjelmassa ei kuitenkaan saa listausta kaikista löydetyistä maalajeista. Jos samassa pisteessä olisi kerroksia samalla päämaalajilla mutta eri tarkennuksilla, syntyisi moninkertaisesta prosessista useampi päällekkäinen piste. Päällekkäisiä pisteitä ei voida kolmioida.

Moreenin ylärajapinta täytyi kolmioida yli 70 metrin sivumitalla hyvän peittävyysajan aikaansaamiseksi. Alustavan kolmioinnin jälkeen tontille jäi kaksi vyöhykettä, joissa moreenin yläpinta jäi kalliopinnan alle. Molemmat olivat alueita, joilla kalliopinta nousee paikallisesti lähelle maanpintaa eikä ohuesta pintakerroksesta havaittu lainkaan moreenia. Reuna-alueen päällekkäisyys ratkaistiin lyhentämällä kolmion maksimisivua kunnes kolmiointi ei enää tapahtunut kohouman ylitse. Tontin keskialue on mallintamisen kannalta paljon haastavampi. Havaintoa moreenin puuttumisesta voidaan pitää luotettavana kallion kohouman ja usean alueella sijaitsevan tutkimuksen johdosta. Molemmalla puolella tontin reunoilla moreenia kuitenkin on havaittu johdonmukaisesti. Reunojen havaintojen kolmiointi on mahdollista vain keskialueen ylitse. Reunan tutkimuspisteet sijaitsevat jonossa, eikä niitä voida itsekseen kolmioida järkeväksi pinnaksi. Täysin ilman kolmiointia tieto reuna-alueen moreenista menetetään mallista. Ongelmaa on havainnollistettu kuvassa 10. Pohjatutkimuksiin perustuva moreenin yläpinta kulkee kalliopinnan lävitse, mutta muutoin koko yläpintaa ei voida piirtää.



Kuva 10. Havainnekuva. Reunan moreeni kolmioituu kallion lävitse. Jälkimmäisessä moreenin YP nostettu kallion tasolle.

Houkutteleva ratkaisu olisi nostaa keskialueen tutkimuspisteissä moreenin yläpinta kalliopinnan tasolle. Tällöin moreenista muodostuu kiilamainen rakenne kallion päälle. Muotoa on havainnollistettu kuvan 10 jälkimmäisessä leikkauksessa. Moreenikerroksen paksuus vähenee nollaksi kohti kairauksia, joissa sitä ei ole havaittu. Malli on johdonmukainen ja jossain mielessä konservatiivinen. Jos kiilamainen kerros on heikkoa maata, se tulee ohuena kerroksena huomioitua laajalla alueella. Toisaalta nyt moreenin löytymistä keskialueilta voitaisiin pitää mallintajan oletuksena. Tässä tapauksessa pidettiin tiedon menettämistä reunan moreenihavainnoista ongelmallisempänä kuin mahdollisuutta moreenihavaintojen liioittelusta. Kalliopinnan ja moreenipinnan risteämää ei voida hyväksyä vaihtoehdoksi missään tapauksessa. Harmillisesti malliin jäi alue, jolla kalliopinta ja moreenin yläpinta ovat täsmälleen samat. Alueelle ei saatu aukkoa, koska ohjelma osaa rajoittaa kolmiointia oikein vain kolmioverkon reuna-alueella. Toiminnon käyttö verkon sisällä johti aina suurempiin aukkoihin kuin oli tarkoitus.

Maanpinnan maalajit

Ylimmän maakerroksen yläpintaa voisi pitää maaperämallin yhteydessä myös maanpintana. Ohjelmassa on kuitenkin erikseen kerros maanpintamallille ilman yhteyttä sen maalajiin. Jos maaperämallin ylin rajapinta ja maanpintamalli eivät ole samat, väliin jäävän kerroksen maalajia ei voida määrittää. Maanpinta luodaan yleensä tarkan maastokartoituksen tai laserkeilauksen/stereokuvantamisen pohjalta, eikä sen voi odottaa olevan täsmälleen sama kuin maaperämallissa. Maastomallin pintaa voisi periaatteessa käyttää myös ylimmän maalajin yläpintana. Operaatio olisi kuitenkin äärimmäisen vaikea mikäli ylin maalaji ei ole kaikkialla sama, ja se vaatisi pinnan päivittämistä jokaisen muutoksen jälkeen. Maaperämallin yläpinnaksi jää käytännössä kairausten aloituspisteistä muodostettu kolmioverkko. Verkko mukailee maanpintaa olematta lähellekään yhtä yksityiskohtainen kuin maastomalli. Maaperämallin käyttökohteiden kannalta pintakerrosten karkeuden ei yleensä odottaisi olevan ongelma.

Yhdessä tutkimuspisteessä alun maalajiksi oltiin kirjattu siltti. Onneksaasti saman pisteen toisessa kairauksessa alkuun oltiin kirjattu täytemaata ennen silttikerrosta. Ilman toista kairausta maaperämalliin olisi jäänyt kuoppa havainnon ympäristöön. Silttipintaa ei saada kolmioitua, koska sitä ei havaittu missään ympäristössä. Ongelma on vaikea ratkaista. Kuopan täyttäminen muita rajapintoja nostamalla olisi järjetöntä. Moreenikerros aleella jossa tiedetään olevan silttiä tekisi mallista vain vähemmän luotettavan ja hyödyllisen. Pintakerrosten mallintaminen osoittautui prosessin haastavimmaksi. Ylimmissä kerroksissa on enemmän vaihtelua maalajihavainnoissa, pitkälti siksi että yläkerrokset eivät usein ole luonnontilassa. Jos maaperämallin räätälöisi mukailemaan maanpintaa mahdollisimman tarkasti, sen tarkkuus ja luotettavuus kärsisi. Yleisesti maaperämallin käyttäjän tulisi olla tietoinen maastomallin ja maaperämallin eroista ja yläkerrosten mallinnusrajoitteista.

Kohteen ylin maakerros oli joitain ohuita humusalueita lukuunottamatta täyttömaata. Viimeisenä muodostettiin täytön ja humuksen rajapinnat. Humus muodosti selkeän alueen tontille. Lisäksi humushavaintoja jäi yksi orpo piste tontin vastakkaiselle laidalle. Aivan humushavaintojen keskellä sijaitsi yksittäinen tutkimus jossa pinnan maalajiksi oltiin arvioitu siltti. Koska ylin maakerros oli humusta kaikissa ympäröivissä pisteissä ja kolmiointi täytyi kuitenkin tehdä alueen ylitse, oletettiin pinnan olevan humusta myös tässä yhdessä pisteessä. Jos pistettä ei oltaisi lisätty malliin, olisi alueella edelleen ollut humuskerros joka ei ulottuisi maanpintaan.

Humuspinta ja kalliopinta ristesivät yhdellä alueella tutkimuspisteiden välissä. Risteäminen ei johtunut lainkaan tutkimusten ristiriitaisuudesta, vaan kolmioverkon erilaisesta muodosta. Kalliopinta kolmioitui alueella useamman tutkimuspisteen mukaan kuin humuspinta. Kallio nousee tontin reunalle, mutta humuspinta ei, koska reunalla ei ole enää humushavaintoja. Tämän seurauksena kolmioverkot leikkasivat toisiaan vaikka humuspinnan verkon kärkipisteet olivat jokaisessa tutkimuspisteessä

korkeammalla kuin kalliopinnan kärkipisteet. Kalliopinta nousi enimmillään puoli metriä humuspinnan yläpuolelle. Tässä tapauksessa humuspinnan reunimmaisimmat kolmiot poistettiin kolmioinnista kalliokohouman alueella. Alueen kolmiointia määräsi yksi reuna-alueen tutkimus jossa havaittiin vain äärimmäisen ohut humuskerros lähes pinnassa sijaitsevan kallion päällä.

Täyttömaa muodosti laajan yhtenäisen verkon tontin halki. Kalliopinta ei missään leikanut täytön yläpintaa. Tämä oli odotettavissa koska täyttö oli havainnoissa aina ylin maakerros. Tästä huolimatta oltaisiin voitu törmätä samaan ongelmaan kuin humuspinnan yhteydessä. Tontin joissain kohdissa kallio on pinnassa ja kalliopinta on itse ylin maarajapinta. Yhteen nurkkaan jäi myös aukko orvon humushavainnon vuoksi. Täyttömaan pinta ja humuspinta kuitenkin leikkasivat toisiaan yhdellä kohtaa. Tämä johtui humuksen kolmioitumisesta kohti kairausta jossa kallion päällä oli vain ohut humuskerros. Tällä kertaa tyydyttävän ratkaisun löytäminen osoittautui lähes mahdottomaksi. Täytön yläpinnan nosto juuri humusrajapinnan ylle vaatisi metrin muutoksen alkuperäiseen kolmiointiin verrattuna. Humuksen yläpintaa päätettiin rajata niin ettei se ulottunut enää kohti reunan ohutta pintakerrosta. Ei kuitenkaan ole syytä epäillä ettei kallion päällä olisi ollut ohutta humuskerrosta, joten on ikävää jättää tämä tieto pois mallista.

5.5 Yhteenveto

Tamperelaisen peruskoulun tontilla tehtiin 41 pohjatutkimusta maaperäolojen selvittämiseksi ja maaperämallin laatimiseksi. Jäljessä on listattu tärkeimmät havainnot.

- Yksittäisten rajapintojen luonti on helppoa, ristiriidattoman yhdistelmämallin luonti on vaikeaa
- Kaikkia maaperän tutkittuja ominaisuuksia ei saada sisällytettyä maaperämalliin
- Samankin mallin tarkkuus voi vaihdella vyöhykkeittäin
- Pohjatutkimuksiin sisältyy luonnostaan ristiriitaisuutta mallinnuksen kannalta
- Pintakerrosten rakenne on vaikeammin tulkittavaa kuin syvempien maakerrosten
- Malli sisältää väistämättä mallintajan tulkintaa aineistosta

Maaperämallin käyttötarkoitus yrityksen sisällä on toistaiseksi ensisijaisesti massalaskenta ja massanvaihdon suunnittelu. Mallista saisi kaksi- tai kolmiulotteisen geometrian maan kestävyyslaskentaan tätä tukevaan ohjelmaan. Toistaiseksi yrityksessä ei kuitenkaan lasketa kestävyyskäsitteitä elementtimenetelmään perustuvilla ohjelmilla, joissa geometria määritellään näin vapaasti. 3D-mallin geometria voisi tuoda suoraan mallinnusohjelmaan, tai 2D-laskennassa mallista voidaan ottaa leikkaus. Malli itsessään voi olla asiakkaan haluama lopputuote, jolloin se tehdään vain luovutettavaksi. Näin onkin aiemmin käynyt ainakin yhdessä suuressa väylähankkeessa.

Laadukkaan ja käyttökelpoisen maaperämallin luonti harvasta tutkimusaineistosta on haastavaa. Malleihin sisältyy välttämättä paljon suunnittelijan tulkintaa ja menetettyjä

ykityiskohtia. Samaankin malliin syntyy suuria alueellisia tarkkuuseroja tutkimustiheydestä riippuen. Periaatteessa mallin käyttäjä voi visuaalisesti arvioida mallin luotettavuutta eri alueilla kolmioinnin perusteella. Alueella jossa havaintoja on enemmän on myös kolmioinnin kärkipisteitä enemmän. Tämä edellyttää kuitenkin mallin käyttäjän olevan valveutunut mallinnusprosessin luonteesta. Ei ole myöskään selvää mitä käyttäjän pitäisi tehdä asian suhteen, jos malli on harvaa.

Yksittäisestä maalajirajapinnasta on helppoa luoda naiivi pintamalli kaikki havaintopisteet kolmioimalla. Näistä malleista ei kuitenkaan saa loogisesti yhdenmukaista maaperämallia, vaan pinnat leikkaavat toisiaan ja jättävät malliin aukkoja. Loogisesti yhdenmukaisen yhdistelmämallin luominen on valtavasti haastavampaa. Joissain kohteissa asiakas on halunnut rajapinnan pehmeistä ja karkeista maista, tarkoista maalajimäärittämisistä välittämättä. Tällaisen mallin muodostamisessa törmättäisiin paljon pienempiin ongelmiin pintakerrosten geometrian suhteen. Kalliopintamalli on helpoin muodostaa kattavaksi ja luotettavaksi. Kalliohavaintoja tai todennäköisiä kalliohavaintoja syntyy pohjatutkimuksista aina. Kalliopintaa käytetäänkin usein louhintasuunnitelmissa ja sen mallintaminen on ollut väistämätöntä jo pitkään. Yllättäen maanpintamalli osoittautuikin olennaiseksi osaksi maaperämallia pinnan maalajien määrittämisvaikeuden vuoksi.

Mallin ristiriitaisuuksien ratkominen vaatii väistämättä manuaalista muotoilua tai ainakin manuaalisen tarkastuksen. Suurten aineistomäärien käsittelyssä työkalujen toivoisi olevan tehokkaampia. Satojen tutkimuspisteiden ristiriitojen ratkaiseminen käsin olisi valtava urakka. Työkaluja on kuitenkin mahdotonta automatisoida loppuun asti. Mallin ristiriidat eivät johdu lähtökohtaisesti huonosta mallista, vaan rajallisesta määrästä lähtötietoa ja tarpeesta idealisoida kerroksia. Maakerrokset eivät todellisuudessa välttämättä vaihdu jyrkästi, mutta mallissa epämääräisyyttä ei ole.

Yksinkertaisin menetelmä arvioida risteämättömän maaperämallin käyttökelpoisuutta olisi vertailla maaperämallin ylimmän pinnan korkoa maanpintamalliin. Hyvässä mallissa maakerrosten ylärajat ovat maanpinnassa tai sen lähellä. Tutkimuskohteen tontilla on maanpinnassa eri maalaji tai kallio eri vyöhykkeillä, joten vertailupinta täytyisi valita aina korkeimman kerroksen mukaan. Yksittäistä pintaa tutkittaessa ei nähdä onko kyseinen rajapinta kohdan korkein. Vertailu oli ohjelmassa vaikeaa, koska vain kahden pinnan eroa voi vertailla samanaikaisesti. Maalajirajoista voidaan luoda yhdistelmäyläpinta vertailua varten. Vertailu on kuitenkin vaikeaa, koska yhdistelmäpinnasta ei enää näe mitä maalajia eri kohdat edustavat. Kompromissi olisi työkalu jolla voitaisiin visualisoida usean pinnan korkoeroa samanaikaisesti.

Kaikkien maaperämalleja käyttävien osapuolten tulisi olla tietoisia kuinka paljon mallinnusprosessissa menetetään alkuperäisten kairausten sisältämää tietoa. Määrälaskenta saattaa olla ainoa tehtävä, missä kohtuullisen mallin pohjalta työskennellessä ei tarvitse referoida lainkaan alkuperäisiä tutkimuksia.

Kestävyyslaskentaan mallista voi saada helpolla geometrian, mutta siihenkin täytyy suhtautua pienellä varauksella. Mitoituksessa käytettäviä lujuusparametrejä tuskin on vielä pitkään aikaan mielekästä sisällyttää suoraan malleihin. Maaperämallin laatija on harvoin sama henkilö kuin mitoituslaskija ja työskentely suoraan näin pitkälle tulkitun tiedon varassa sisältäisi kohtuutonta epävarmuutta.

6. CASE 2: MAASTOMALLI

6.1 Toimeksiannon esittely

Toimeksiannoksi valittiin Peltolammilla sijaitsevan, Tampereen Vuokratalosäätiölle kuuluvan taloyhtiön pintavaaitus ja kartoitus. Pintavaaitus ja sen pohjalta tehtävä pinnantasaussuunnitelma on osa taloyhtiön laajuista suurempaa perusparannusta. Pihan asfaltointeja uusitaan pohjarakenteineen ja pihan kuivatusta parannetaan. Taloyhtiön pihoilla on ilmennyt tulvimista ja nykyisissä sadevesiviemäreissä on toimintaongelmia.

Mallin tarkkuusvaatimukset riippuvat mallin käyttötarkoituksesta ja sen mukaan laaditusta mittausuunnitelmasta. Koska kohteessa halutaan suunnitella erityisesti pihan kuivatusta, täytyy korkeusmallin olla tarpeeksi tarkka virtaussuuntien määrittämiseksi koko piha-alueella. Kuivatukseen liittyy keskeisesti myös kaivojen sijainti. Sen sijaan rakennusten ja pihavarusteiden tarkka sijainti ei ole yhtä kriittistä. Maastossa kaikki kohteet on kuitenkin mitattu suunnilleen samalla tarkkuudella.

6.2 Toteutustapa ennen mallintamista

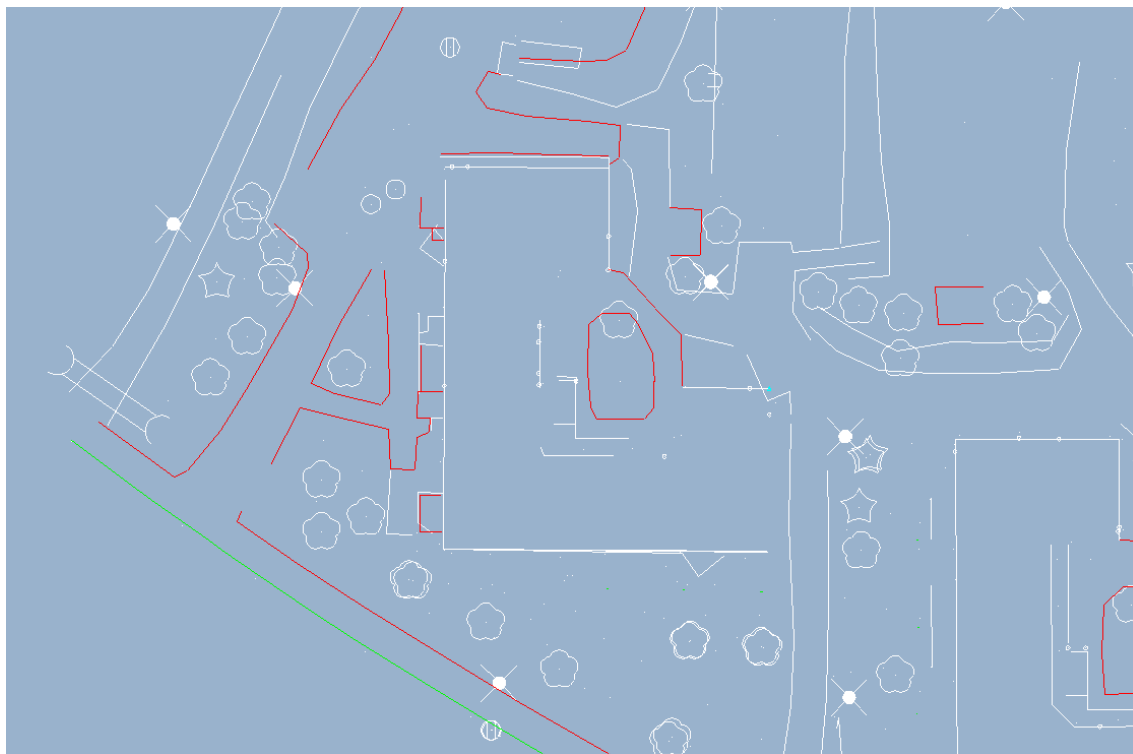
Koska kartoituskuvaan halutaan piirtää korkeuskäyrät epäsäännöllisten pistemittausten perusteella, on jonkinlaisen välimallin luominen käytännössä välttämätöntä. Korkeuskäyrän muodostaminen ohjelmallisesti edellyttää jatkuvaa pintaa jonka kaltevuus ja korkeus eri pisteissä voidaan määrittää. Tällainen malli on luotu esimerkiksi yleisessä 3D-Win-ohjelmassa vain osasta mittausaineistoa, jotta halutulle vyöhykkeelle saadaan jatkuva kolmioverkko. Korkeuskäyrien muodostamisen jälkeen niistä tallennetaan pelkkä tasopiirros, josta haluttu alue pilkotaan osaksi lopullista karttaa. Tasopiirustus on prosessin ainoa lopputuote.

6.3 Mallintaminen

6.3.1 Korkeusmalli

Korkeusmalli on mallinnuksen jälkeen käytännössä kolmioverkkomalli ohjelman maanpinta-tunnuksellisella piirtotasolla. Korkeusmallin täytyy olla jatkuva tontin kaikilla piha-alueilla. Maastomittaukset kattoivat sopivasti laajemman alueen kuin työalue, joten tontin reunojen kartoituksen suhteen ei ilmennyt ongelmia. Tontilla sijaitsee kuusi laajaa kerrostaloa, jotka yhdessä kattavat suuren osan koko tontista. Ideaalisesti maanpintamallissa olisi aukot rakennusten kohdalla. Teknisesti tämä ei

kuitenkaan Tekla Civilissä onnistu. Rakennusten sijainti mallissa täytyy osoittaa rajausviivalla, joka ei määritelmällisesti ole osa korkeusmallia. Kuvassa 11 näkyy alkuperäisiä mittaushkohteita. Punaiset viivat kuvaavat reunakivetyksiä ja suurin osa muista viivoista kuvaa luiskien ylä- tai alareunoja. Rakennuksen sokkelilinjat erottuvat selvinä suorakulmaisina rakenteina, mutta eivät kierrä koko rakennusta. Kartoituskohteet kuten lehtipuut ja kaivonkannet piirtyvät oikeilla piirrosmerkeillä karttanäkymässä. Kuvassa ei erotu suuri määrä korollisia hajapisteitä viivojen välisillä alueilla.



Kuva 11. Tontin kartoitusdatan visualisointia, korkeusmalli ja kartoitustieto

Geonic-tiedoston kartoitusmittaukset haluttiin tuoda malliin. Geonic-tiedostossa aineisto on karkeimmin jaettu kolmeen luokkaan: maanpinta, kallionpinta ja kartoituspinta. Ohjelma osaa lajitella aineiston kolmelle eri pinnalle luvun yhteydessä. Aineiston kanssa törmättiin silti heti ongelmiin. Tekla Civil tulkitsee Geonic-tiedoston muotoilua tiukemmin kuin aiemmin käytetty 3D-Win-ohjelma. Liikenneviraston koodausohjeen mukaan maan- ja kallionpintatasojen viivakohteet eivät saa leikata toisiaan. Mitatussa aineistossa näin kävi usein. Ohjelma ei eritellyt miksi se piti joitain viivoja virheellisenä, joten ongelman tunnistaminen kesti tovin. Ohjelma myös piirsi jatkuvan viivan joidenkin pisteiden välille, johon 3D-Win ei olisi viivaa piirtänyt. Tekla Civilin tiedostonluku on periaatteessa oikein, yrityksessä ollaan vain totuttu ettei viivanumeroa tarvitse vaihtaa jos muut tunnukset vaihtuvat. Periaatteessa molemmat ohjelmat tulkitsevat formaattia anteeksiantavammin kuin Liikenneviraston tarkka määrittely, mutta eri tavoilla. On loogista että Tekla Civil ei salli leikkaavia viivaobjekteja, koska kaikki aineisto on tarkoitettu kolmioida reaaliajassa. Kolmiointi on mahdotonta, jos erikorkuiset

taiteviivat leikkaavat. Täydellisesti ohjeen mukaan formatoitu mittaus lukeutuisi varmasti oikein molempiin ohjelmiin.

Joitain ilmeisiä viivanumerointivirheitä korjattiin suoraan lähtötietotiedostoon, mutta loput ongelmat päätettiin korjata ohjelman sisällä. Vain vähäisesti leikkaavia viivoja siirrettiin tai lyhennettiin. Joitain useaan kertaan mitattuja kohteita poistettiin. Ensimmäisen korjauksen jälkeen pinta ei vielääkään kolmioitunut, vaikka ohjelma ei eritellyt mitenkään mistä tämä johtui. Oletettavasti jotkin piirtokohteet olivat liian lähellä toisiaan. Jonkinlainen analyysityökalu ongelmien havainnollistamiseksi olisi ollut erittäin arvokas. Ohjelmassa vaikuttikin olevan tarvittava työkalu, mutta ainakaan versiossa 17.4 sitä ei saatu toimimaan. Työkalua ei myöskään mainittu ohjelman dokumentaatiossa lainkaan. Mahdollisesti uudemmassa versiossa työkalu olisi toiminut, mutta päivitystä ei saatu tehtyä työn aikana. Pinta kirjoitettiin uudestaan Geonic-formaatissa ja tarkistettiin toisessa ohjelmassa.

Rakennusten reunaviivoilta on otettu paljon korkeuspisteitä, joten rakennusten sisäalueen pitäisi kolmioitua ympäröivän maanpinnan tasoon. Kolmioitumisessa on kuitenkin eroavuutta, jos rakennuksia ympäröivät korot on mitattu hajapisteinä tai murtoviivoina. Murtoviiva on paljon parempi kuin hajapiste, koska se ohjaa kolmioitumisen osoittamaan maanpinnan muutosta lineaarisesti nimenomaan seinän suunnassa. Kolmioviivasta tulee seinälinjalla seinän suuntainen. Hajapisteistä kolmioitaessa kolmioviivat voivat risteillä seinälinjan poikki ja saada aikaan vaikutelman kuopista ja kohoumista mittausten välisellä alueella. Rakennusten sokkelien yläpinta olikin mitattu murtoviivana, mutta maanpintaa seinän vierustalla ei. Nämä välit päätettiin yhdistää viivaobjekteilla seinälinjan suuntaisesti. Koska uusien viivojen alku- ja loppupisteet ovat mitattuja korkoja, ei uusi viiva lisää keksittyä tietoa malliin. Uusi viiva ohjaa kolmiointia pakottamalla taiteviivan sijaintiinsa. Koska seinälinjan tiedetään kulkevan tietyssä kohtaa, kolmioinnin ohjaaminen tuo tarkempaa tietoa jo olemassaolevista mittauksista. Koordinaatteihin asetettu asemapiirros tuotiin malliin referenssiksi seinälinjojen sijainnin varmistamiseksi. Suoria linjoja muodostavat suorakulmaiset taiteviivat saavat myös rakennusten sijainnin erottumaan kolmiomallissa visuaalisesti. Kaikkialla reunaviivoja ei saatu tehtyä, koska maanpinnan korkoa ei oltu aina mitattu rakennuksen nurkassa. Mittaajaa kannattaisi ohjeistaa mittaamaan maanpinta nurkissa laadukkaan kolmioinnin varmistamiseksi.

6.3.2 Ympäristökohteet

Ympäristökohteet ovat kartoituspinta-pintatunnuksen piirtokohteita, joiden tunnistekoodi määrittää mitä objektia piirtokohde kuvaa. Koodit perustuvat Liikennelaitoksen julkaisuun Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje [8]. Ohjelmassa kartoituspinta-aineisto luetaan automaattisesti kartoitustiedot-nimiselle piirtotasolle ja ne säilyttävät tunnistekoodinsa. Ympäristökohteet piirtyvät tunnistekoodin mukaan oikeilla piirrosmerkeillä karttanäkymään. Joitain sokkelilinjoja

oli yhdistettävä, jotta ne kiertäisivät rakennukset kokonaan. Ohjelman piirtotyökalut ovat verrattain kiikkeriä 2D-piirtämiseen, mutta soveltuivat kuitenkin tehtävään.

Ohjelman Geonic-kirjoitustoiminnossa voi valita monta piirtopintaa samanaikaisesti, joten kaikki alkuperäisen maastomallimittauksen mukaiset piirtokohteet voidaan kirjoittaa takaisin yhteen tiedostoon. Koska kartoitustiedot-piirtopinta on samanlainen kolmiomallipinta kuin muutkin piirtopinnat, luo ohjelma niistäkin kolmioverkon. Verkkoa voidaan pitää täysin hyödyttömänä harvan aineiston vuoksi.

6.4 Yhteenveto

Tamperelaisen kerrostaloyhtiön piha-alueet kartoitettiin ja kartoituksesta luotiin sähköinen maastomalli. Jäljessä on listattu tärkeimmät havainnot.

- Mittaajalla pitäisi olla selkeä ohjeistus taiteviivojen numeroinnista ja käytetyistä tunnuksista
- Maanpinta tulisi mitata rakennusten nurkissa laadukkaamman kolmioinnin vuoksi
- Vielä parempi olisi mitata maanpinta rakennuksen ympäri sulkeutuvana murtoviivana sokkelin tavoin

Työskentelyn tehostamiseksi mittamiehen pitäisi olla ohjeistettu käyttämään koodistoa juuri Tekla Civilille ominaisella tavalla. Siltikään kaikelta jälkikäsitteilyltä ei voida välttyä. Mittamiehen on vaikea mittalaitteillaan tietää tekevänsä päällekkäisiä linjoja. Joskus mitattavat linjat myös oikeasti leikkaavat. Ei ole mahdotonta että reunakivetys kulkisi harjanteen yläreunan poikki. Ohjelma korosti virheelliset kohteet selkeästi, mutta ei yleensä tehnyt selväksi, miksi jokin piirtokohde olisi virheellinen. Korjaaminen tapahtui välillä sokealla yrittämisellä. Ilmeisesti ohjelmistovirheen vuoksi jotkin viivat tulkittiin virheellisiksi korjaamisen jälkeenkin, kunnes niitä siirrettiin nollalla millimetrillä.

Kalliopisteiden automaattinen tuonti omaan kolmiopintaansa voisi aiheuttaa joitain ongelmia. Kohteen alueella ei ollut avokalliota, mutta jos olisi ollut, eivät kalliopisteet olisi kuuluneet maanpintamalliin. Käytännössä kalliopintapisteiden tietenkin pitäisi olla osa maanpintamallia, jos kallio on pinnassa. Kaikki kalliopinta-piirtotason pisteet pitäisi kopioida maanpinta-piirtotasolle aina.

Tietomallimuotoinen maastomalli on selvästi hyvin käyttökelpoinen pohja muulle suunnittelulle. Mallista saa helposti tulostettua samanlaisen kartoituskuva kuin oltaisiin aiemmin tuotettu ainoana lopputuotteena. Mallin sisällä maanpinnan korkeutta voi lukea missä tahansa reaaliaikaisesti ja taustalla näkee referenssinä ilmakuvan avointen aineistojen tiedostopalvelusta. Maastomalli toimii pohjana muulle 3D-suunnittelulle ja kaivantojen tilavuuksien laskentaan.

7. CASE 3: PISTEPILVEN HYÖDYNTÄMINEN SUUNNITTELUSSA

7.1 Toimeksiannon esittely

Tutkittavaksi toimeksiannoksi valittiin läjitetyn ylijäämämaan kartoitus uuden teollisuusalueen laitamilla Nokialla. Ylijäämämaasta on muotoiltu penger entisen metsän peittämälle alueelle, jota metsä edelleen raunustaa monelta osin. Kartoitusta tullaan käyttämään myöhemmin pohjana esirakentamisen suunnitteluun alueella.

Kohteessa yhdistyy useampi mittausmenetelmä samalla alueella. Tehdyn täytön mittaaminen nähtiin tehokkaimmaksi UAV-ilmakuvauksella. Täytön laakea yläpinta saadaan kartoitettua suurelta alueelta yhdellä lennolla. Työmaa etenee metsään ja puusto reunustaa mitattavaa aluetta. Metsän luoman katveen vuoksi ilmakuvaukseen ei ole soveltuva menetelmä pengertäytön reuna-alueen mittaamiseen. Pengertäytön reuna luiskautuu alas, joten reuna-alueen geometrialla on paljon merkitystä penkereen tilavuudelle. Alueen puustokatve vaikeuttaa myös GPS-mittauksen suorittamista, mutta luiskien ja ojien mittaus päätettiin silti pyrkiä tekemään GPS-laitteistolla. Takymetrimittaukseen varauduttiin siltä varalta että katve haittaa GPS-mittausta liikaa. Vanhan maanpinnan mallintaminen penkereen ulkopuolelta tehtiin käyttäen Maanmittauslaitoksen avointa laserkeilausaineistoa. Näin samassa mallinnuksessa yhdistyy pistepilviaineisto kahdesta eri lähteestä ja menetelmästä sekä pistemittaus maastossa.

7.2 Mittausaineisto

7.2.1 UAV-ilmakuvaukset

UAV-kuvauksella haluttiin tuottaa työmaasta pinnan korkeustiedon lisäksi niin sanottu ortokuva. Ortogonaalinen eli suorasta yläperspektiivistä projisoitu kuva vastaa normaalia ilmakuvakarttaa ja sitä voidaan käyttää taustakarttana. Kopteri ei ota yhtä kokonaiskuvaa työalueesta, vaan ortokuva rakennetaan mosaiikkimaisesti kaikista kopterin ottamista kuvista. Näin perspektiivi on suorakulmaisempi ja kuvasta saadaan täydellinen tasoprojektio. Kuvaa käytetään apuna muun mittausaineiston rajaamiseen aineistojen yhdistelyssä. Kuvasta näkee myös työmaan vaiheen mittausaikana.

Ilmakuvaukset tehtiin elokuun 2018 lopulla Taratest Oy:n omalla Leica Aibotix X6V2 – kuvauksopterialla. Kuusipotkurisen kopterin halkaisija on vähän yli metrin ja se kykenee

kantamaan kahden kilon painoista kameraa. Lentosuunnitelma laadittiin Aibotix AirProFlight –ohjelmistolla. Lentosuunnitelma pohjautuu säännölliseen ruudukkoon, joka kattaa koko mittausalueen. Ruudukon reunoja voidaan karsia, jotta mittausalueen ei tarvitse olla suorakaide. Kuvissa on tarkoituksella suurta päällekkäisyyttä kaikilla sivuilla. Lopullinen lentosuunnitelma on esitetty kuvassa 12. Keltainen alue näkyy kopterin ottamissa kuvissa. Värin vahvuus kuvaa kuvien päällekkäisyyttä alueella. Kopteri kuvaa kameralla suoraan alaspäin optisten vääristymien minimoimiseksi. Minkä tahansa rektilineaarisen kameraobjektiivin projektiovirhe kasvaa kuvan reunoja kohti. Lennon ohjelmoinnin jälkeen maastoon merkattiin maalaamalla 16 kiintopistettä kiviin ja maanpintaan. Esimerkki kopterin kuvaamasta kiintopisteestä on esitetty kuvassa 13. Kiintopisteiden todellinen sijainti mitattiin erikseen. Alue ja kiintopisteiden määrä on edustava normaalista toimeksiannosta. Lopullinen mittausaineisto koostui 131 valokuvasta sekä kuvauskopterin GPS-sijaintitiedoista.



Kuva 12. UAV-kuvauskopterin lentosuunnitelma. Ympyrät edustavat valokuvauskohtia ja keltainen korostus kuvissa näkyvää aluetta.

Aineiston käsittelyyn käytettiin Agisoft PhotoScan –ohjelmaa. Kiintopisteiden osoittaminen kuvista ja aineiston yhteensovittaminen hyväksyttävällä tarkkuudella oli ilmakehuvausprosessin aikaavievien vaihe. Kuvien yhteensovittamiseen käytetään sekä kiintopisteitä että kuvien päällekkäisyyksiä. Tuulisten kuvausolosuhteiden vuoksi

muutama kuva oli tärähtänyt käyttökelvottomaksi, mutta päällekkäisyyden vuoksi tämä ei aiheuttanut ongelmia. Kuvissa on aina enemmän päällekkäisyyttä mittausalueen keskellä kuin reuna-alueella. Kiintopisteet sitovat mallin todellisiin koordinaatteihin/korkoon ja tarjoavat menetelmän tarkkuuden mittaamiseen. Odotetusti luiskan alareunaa ei saatu ilmakuista tarkasti metsää reunustavilta osilta. Haluttu penkereen ylätasanne erottui mallista erinomaisesti.



Kuva 13. Maalattu kiintopiste kuvauskopterin näkemänä. Pieni osa kuvaa.

Ohjelma luo ensimmäisen pistepilven kaikista kuvien perusteella laskemistaan kohteista. Syntynyt pistepilvi on rikkonainen ja epäsäännöllinen, mutta toimii pohjana ohjelman sisäiselle toiminnalle. Ohjelma luo tiheän pistepilven interpoloimalla laskemaansa epäsäännöllistä pistepilveä. Metsän karsimiseksi pistepilvestä käytettiin ohjelman automaattisia luokittelutyökaluja. Tässä tapauksessa automatiikka toimi hyvin, eikä vaatinut manuaalista viimeistelyä. Lopulta pistepilven voi tuoda ohjelmasta monessa yleisesti käytetyssä formaatissa. Vaihtoehtoisesti kolmioinnin voi tehdä suoraan PhotoScan-ohjelmassa ja pintamallin voi tuoda kolmioverkkona. Inframodel tai LandXML ei kuitenkaan ole tuettuna ohjelmassa. Prosessista syntyy myös ortokuva, eli suoraan ylhäältä projisoitu ilmakuva kuvatusta alueesta. Kuvan saa helposti oikeisiin koordinaatteihin ohjaustiedostolla, joka syntyy prosessin sivutuotteena. Ohjaustiedosto on vain tekstitiedosto joka sisältää nurkkapisteen koordinaatit ja kuvan mittakaavan, mutta moni ohjelma osaa lukea sitä automaattisesti. Myös Maanmittauslaitos tarjoaa ortokuva-aineistoa koko Suomesta, mutta kuvien päivitystaajuus on 3-10 vuotta.

7.2.2 Maanmittauslaitoksen avoin pintamalliaineisto

Työalueen ulkopuolisen alueen ja vanhan maanpinnan muodostamisessa haluttiin käyttää maanmittauslaitoksen avoimesti jaettavaa laserkeilausaineistoa. Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto on keilattu lentokoneesta käsin. Aineiston kattavuus on todella hyvä, mutta pistepilven laskennallinen tiheys on vain 0,5 pistettä neliömetrille. Näin matalaresoluutioisesta aineistosta saadaan vain suuripiirteinen käsitys pinnan tasosta. Varsinainen ladattava aineisto on interpoloitu laserkeilausaineistosta säännölliseen ruudukkoon. Alue, jolta keilausaineistoa haluttiin hyödyntää, on metsän peitossa. Maanmittauslaitoksen aineistossa pistepilveä on valmiiksi luokiteltu karkeasti muutamaaan kategoriaan. Luokittelu on tehty automaattisella järjestelmällä ja on aina jonkinlainen kompromissi. Metsäisillä alueilla luokittelun toiminta on aiemmin havaittu vaihtelevaksi. Joskus maanpintapisteet-luokan saanut aineisto kuvaa metsänpohjaa hyvin, mutta toisaalla aineisto on metrejä todellista maanpintaa korkeammalla.

Maanmittauslaitos jakelee avointa korkeusmalliaineistoa ruudukkopohjaisessa Esri grid-formaatissa. Aineistoa on saatavilla kymmenen ja kahden metrin ruudukoissa, mutta erikoisesti kymmenen metrin aineisto ei perustu laserkeilaukseen, vaan vanempaan ja epäluotettavampaan kartoitusaineistoon. Kahden metrin ruudukon korkeusmalliaineisto jaellaan 6km x 6km erissä ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa. Tarkka suunnittelutyö tehdään lähes aina ETRS-GKn-koordinaatistossa, kuten tässäkin tapauksessa. Koko maan levyisessä TM35FIN-projektiossa Suomi on yksi projektiovyöhyke ja mittavirhe kasvaa alueittain verrattain suureksi. GKn-järjestelmässä käytetään kapeampia kaistavyöhykkeitä pienemmän mittavirheen vuoksi. Maanmittauslaitoksen aineistolle täytyy tehdä sekä rajausta että koordinaattimuunnos. Tämän jälkeen siitä täytyy muodostaa pintamalli halutuilta osin ja yhdistää se muiden aineistojen pohjalta luotuihin pintoihin.

7.2.3 Maastomittaukset

Pengerluiskan alareunat mitattiin GPS-pistemittauksena heti UAV-ilmakuvauksen jälkeen. Mittaaja kiersi penkereen ja mittasi yhtenä jonomittauksena sen reunaluiskan alareunan. Tuloksena syntyy murtoviiva oikeassa korossa. Samalla mitattiin vedenohjauksen rummut ja ojanpohjia. Syntynyt aineisto oli verrattain pieni, mutta välttämätön prosessille. Ilmakuvauksen suorittaja arvioi maastomittaustarpeen välittömästi kuvauksen jälkeen kuvausaineiston ja maaston perusteella. Pienten paikallisten maastomittausten tarve ei juuri hidasta työprosessia, koska mittauslaitteet on joka tapauksessa otettava työmaalla käyttöön kuvauskopterin tähtysmerkitöjen paikalleenmittaukseen. Tähtysmerkkien pistemittauksia käytettiin valokuvien prosessoinnissa, mutta tietomallissa niille ei ole käyttöä.

7.3 Toteutustapa ennen mallintamista

Aineistosta on välttämättä luotava kolmioverkkomalli penkereen tilavuuksien laskentaan ja korkeuskäyrien piirtämiseen kuviin. Aiemmin tämä oltaisiin todennäköisesti tehty 3D-Win-ohjelmalla. Eri lähteistä tuotuja aineistoja oltaisiin yksi kerrallaan rajattu oikean sisällön poimimiseksi ja tallennettu uusiin välitiedostoihin. Lopulta valitut osat oltaisiin tuotu yhteen tiedostoon ja kolmioitu pintamalliksi. Irtonainen pintamalli ei anna mitään referenssiä sijainnistaan ja osamallien eroista. Ortokuva ja osamallit on mahdollista tuoda 3D-Win-ohjelmaan jonkinlaisen vertailun suorittamiseksi, mutta aineiston valikointi ja tuonti täytyy aina toistaa ja tiedoista pitää kirjaa kansiorakenteen ja nimeämisen kautta. Kolmioverkon saisi myös tallennettua Inframodel-tiedostona. Varsinaisten kuvien muodostus tapahtuisi lähes täysin AutoCAD-ohjelmassa. Lopullisen pintamallin pitäisi olla suunnilleen identtinen, jos kaikki operaatiot on tehty oikein.

7.4 Mallintaminen

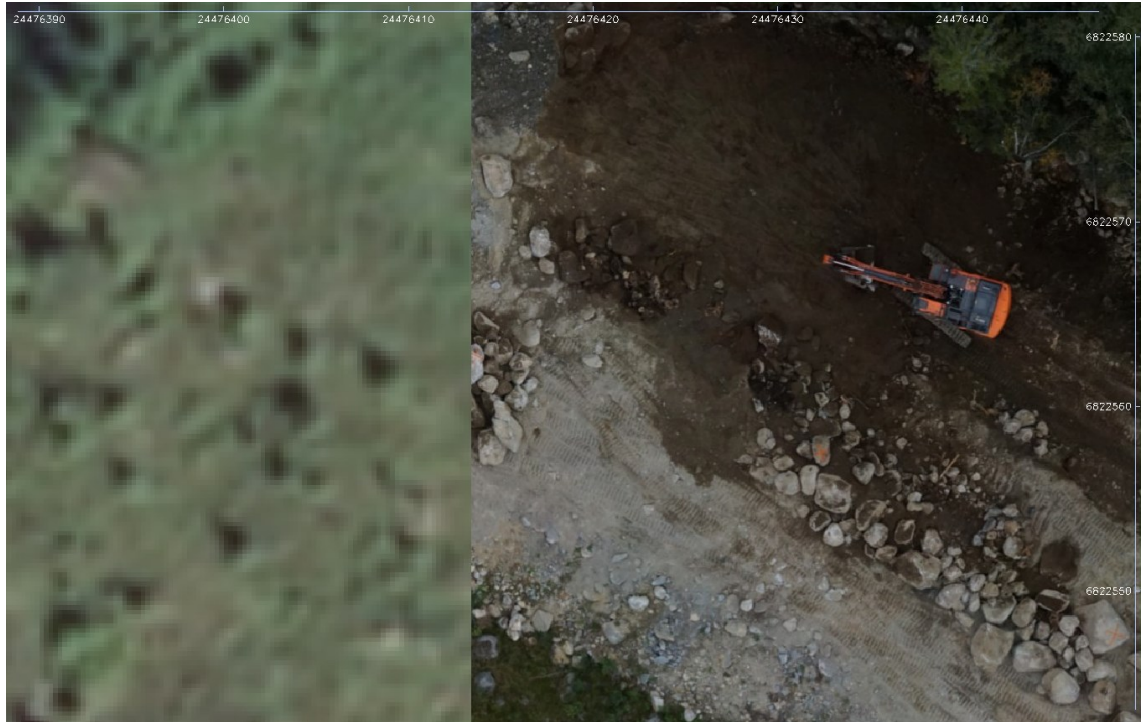
7.4.1 Koordinaattimuutokset

Tekla Civiliin päivitettiin mahdollisuus aineiston tarkkojen koordinaatistomuutosten tekemiselle diplomityön kirjoituksen aikana. Toiminnallisuus oli näennäisesti ennenkin olemassa, mutta metrien luokkaa oleva muunnosvirhe teki siitä käyttökelvottoman. Uuden muunnoskirjaston avulla pitäisi kyetä tekemään tarkkoja koordinaattimuutoksia. Uusi muunnoskirjasto osoittautui kuitenkin kohtuuttoman rajalliseksi. Suomessa yleisesti käytetty ETRS-TM35FIN (EPSG:3067) -projektio ei ole kirjastossa tuettuna. Lähes kaikki maanmittauslaitoksen avoin aineisto jaellaan kyseisessä koordinaatistossa. ETRS-TM35FIN on normaali koordinaatisto kaiken sellaisen aineiston jakamiseen missä projektiokaistan halutaan kattavan koko Suomi. Puute aiheutti jatkuvia ongelmia mallintamiseen.

7.4.2 UAV-ortoilmakuva

Ilmakuvauksesta syntynyt ortokuva haluttiin asettaa referenssiksi suunnitelman taustalle. Oman taustakartan lisääminen tuotti vaikeuksia ensisijaisesti koska ohjelman oma dokumentaatio ohjeisti asian suhteen väärin. Viimekädessä taustakartan lisääminen osoittautui todella helpoksi. Ohjelma osasi automaattisesti lukea ohjaustiedoston, joka kertoo ilmakuvan aseman ja skaalan. Useita taustakarttoja saatiin myös näytettyä samanaikaisesti päällekkäin. Näin uusi ortokuva saatiin työmaan alueelta korvaamaan Maanmittauslaitoksen vuosia vanha ilmakekuva. Referenssikuvan läpinäkyvyyttä (eli reikiä) ei saatu piirtymään, vaan kuva projisoitui mustan taustan kanssa. Erikoisesti PNG-kuvia käytettäessä ohjelma ei vaikuttanut osaavan hyödyntää orientoitietoa tiedostosta. Kuvasta 14 nähdään ero Maanmittauslaitoksen ortokuvan ja UAV-kopterilla

kuvatun ortokuvan välillä. Vuosia vanhemmassa Maanmittauslaitoksen kuvassa ei ole uusia rakenteita ja tarkkuus on verrattain karkea. Jos kuvissa olisi tunnistettavia kohteita, niistä nähtäisiin kuvien asettuvan täydellisesti päällekkäin. Ortokuvassa ilmakuva on tasainen karttaprojektio joka voidaan esittää tasokoordinaatistossa ilman muita projektiomuutoksia.



Kuva 14. Rinnakkain Maanmittauslaitoksen ja UAV-kopterin ortokuvat

7.4.3 Staattiset ja muokattavat pintamallit

Ohjelmassa on kaksi erilaista tyyppiä kolmiopintamalleille. Tavallisesti ohjelma kolmioi kaikki tietyille pintalajille piirretyt kohteet reaaliaikaisesti. Näin piirtokohteita voi lisätä ja muokata vapaasti halutun pinnamuodon saavuttamiseksi. Kolmioverkko on sitä muodostavan aineiston ilmenemä. Toinen pintamallityyppi on tarkoitettu todella suurten aineistomäärien käsittelyyn, esimerkiksi tiheälle laserkeilausaineistolle. Tässä pintamallissa alkuperäisestä aineistosta muodostetaan kolmioverkko, joka tallennetaan tietokantaan, mutta alkuperäistä aineistoa ei tallenneta. Tämän seurauksena kolmioverkkoa ei voi enää luonnin jälkeen muokata, koska muokattava aineisto ei ole erikseen mallissa. Tarkoitus lienee tietokannan koon rajoittaminen ja ohjelman toiminnan nopeuttaminen. Kolmioverkkoa voi edelleen käyttää tilavuuslaskentaan ja muita kohteita voidaan sitoa sen osoittamaan korkoon. Tällainen verkko voi olla ajoittain kätevä, mutta suurimmassa osassa tapauksia aineistoa halutaan käsitellä jotenkin laserkeilauksen jälkeen. Dokumentaatio ei anna selvää rajaa minkä jälkeen aineisto on liian suuri tietokantaan tallennettavaksi.

Tekla Civil -projektissa haluttiin luoda aluerajaus Maanmittauslaitoksen korkeusmalliaineiston rajaamiseen. Ohjelmasta ei löytynyt helppoa menetelmää vain yksittäisen piirtokohteen tallentamiseksi, mutta yleisemmällä koko ruudun piirtävällä toiminnolla saa käyttökelpoisen DWG-kuvan kaikesta ruudun aineistosta. DWG-piirrosten hallinta ei selvästi ole yksi ohjelman käyttötarkoituksista. DWG-aineistoa täytyy systemaattisesti käsitellä esimerkiksi AutoCAD-ohjelmassa haluttuun lopputulokseen pääsemiseksi. Korkeusmalliaineistoa on mahdollista rajata Tekla Civiliin lukemisen yhteydessä. Kuitenkin koska TM35FIN-koordinaattijärjestelmän tarkat muutokset eivät olleet mahdollisia, oli aineistoa käytännössä pakko rajata jo ohjelmassa, jolla tehtiin koordinaattimuutos mallin koordinaatistoon. Koordinaattimuutos yhdeksän miljoonan pisteen aineistolle on raskas toimenpide menetelmästä riippumatta. Aineisto täytyy käytännössä rajata joko ennen koordinaattimuutosta tai sen aikana. GK-koordinaattijärjestelmän rajaustiedosto täytyi toisessa ohjelmassa muuttaa TM35FIN-koordinaatistoon. Tämän jälkeen tiedostolla rajattiin korkeusmalliaineistoa ja rajattu aineisto muutettiin GK-koordinaatistoon edelleen eri ohjelmassa. Esri grid -aineistoa on mahdotonta tallentaa uudelleen samassa formaatissa muokkaamisen jälkeen, koska säännöllinen hilaverkko, johon formaatti perustuu, ei enää muutosten jälkeen ole säännöllinen. Koordinaattimuutosten vuoksi aineiston tuomiseksi ohjelmaan täytyi keksiä uusi reitti vaikka Tekla Civil pystyy lukemaan Esri grid -formaattia.

Aineiston rajauksen kooksi tuli noin 300x300 metriä, mihin mahtuu kahden metrin verkolla noin 22000 korkeuspistettä. Aineisto on maastokartoitusaineistoksi suurehko, mutta pistepilveksi hyvin pieni. Laserkeilauskohde sisältää helposti satoja miljoonia pisteitä. Koska staattisten kolmioverkkojen käyttö suunnittelussa on selvästi rajoittunutta, haluttaisiin kaikki mahdolliset pinnat luoda muokattavassa muodossa. Kokeilun perusteella 60000 pisteen aineisto toimii ohjelmassa vielä mainiosti. Pintaa voi muokata ja visualisoida lähes reaaliaikaisesti. Puolen miljoonan pisteen aineiston testaaminen Tampereen avoimien aineistojen tiedostopalvelun laserkeilausaineistosta ei tuottanut ongelmia ohjelmaan luettaessa. Koko aineiston piirtäminen 3D-näkymään ja kolmioverkon piirto normaaliin karttanäkymään aiheutti kuitenkin useamman minuutin viiveen. Testin perusteella aineiston koolle ei ole selvää rajaa, vaan sen käsittely tulee vain asteittain raskaammaksi tietokoneelle. Toistaiseksi käytännöllinen maksimisuositus on noin satatuhatta pistettä yhdellä pinnalla. Kilometrien laajuisella alueella tämä voi olla vähän, mutta yleensä maaston mallintamiseen riittävästi.

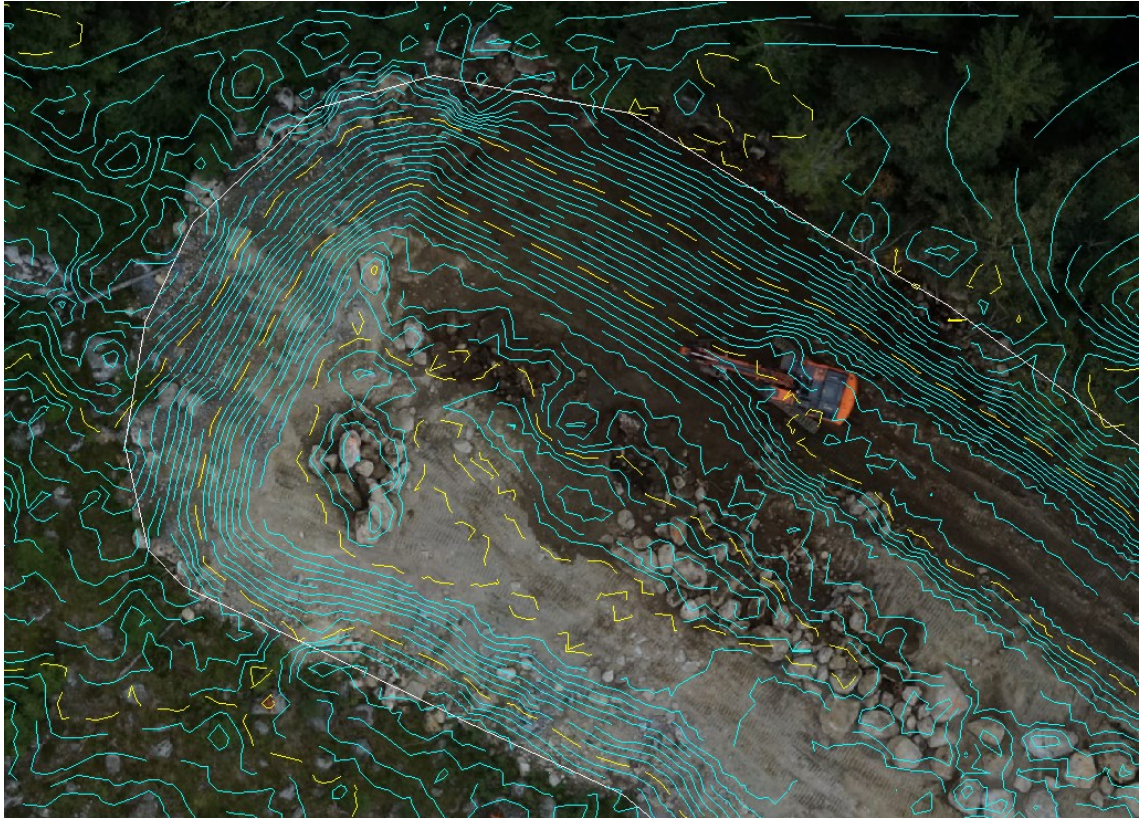
Ohjelma tekee oletuksia tiedostoformaattien käyttötarkoituksista. Vaikka las-pistepilviä voi lukea ohjelmaan, niitä voi lukea vain pintamalleiksi joita ei voi muokata. Muokattavan pisteaineiston luomiseksi aineisto täytyi ensin muuntaa erillisessä ohjelmassa yksinkertaiseen xyz-formaattiin. Toinen haaste syntyi xyz-formaattisen pistepilviaineiston luennasta Tekla Civiliin. Suomalaisissa koordinaatistoissa y-koordinaatit ovat itäkoordinaatteja ja x-koordinaatit pohjoiskoordinaatteja. Tämä

aiheuttaa joskus vaivaa, jos kartoitusaineistoa luetaan ohjelmaan, jonka kartta perustuu nimettyihin x/y-akseleihin N/E-akseleiden sijaan. Aineiston luenta suoraan pintamalliksi antaa mahdollisuuden x ja y-koordinattiakselien kääntämiseen, mutta saman aineiston luku muokattavaksi aineistoksi ei sisällä samaa ominaisuutta. Aineisto täytyi uudelleenkirjoittaa eri koordinaattijärjestyksessä.

7.4.4 Pistepilvien ja maastomittauksen yhdistäminen

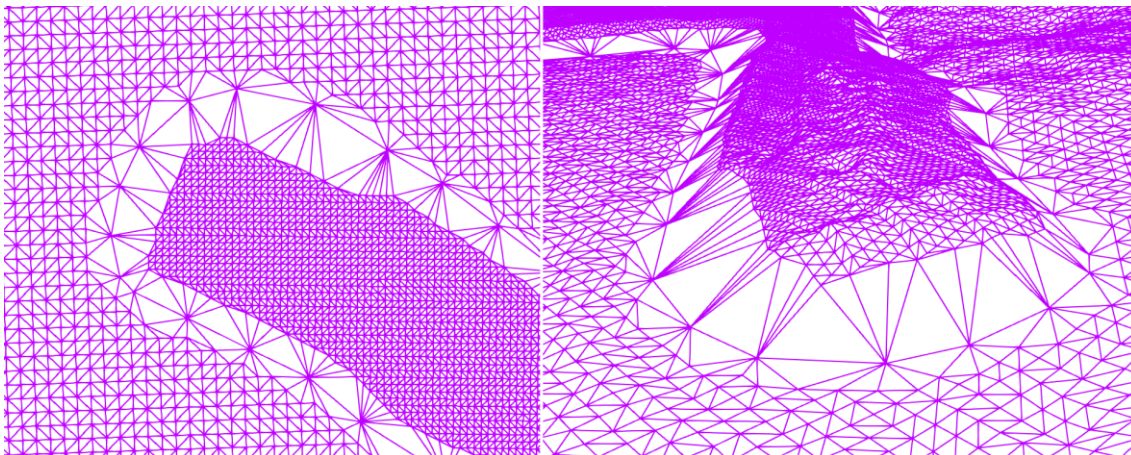
Täytön reunaluiskauksesta päätettiin erikseen mitata vain luiskan alareuna. UAV-kartoituksen tarkkuuden pitäisi olla hyvä koko täytön ylätasanteella, joten luiskaus saadaan mallinnettua kolmioimalla tasannepinta luiskan alareunaan. Luiskan alareunan odotaisi olevan noin samassa tasossa kuin Maanmittauslaitoksen aineistossa.

UAV-pistepilvi, Maanmittauslaitoksen pistepilvi ja luiskan alareunan maastomitattu murtoviiva on rajattava ja yhdistettävä saman kolmioinnin aineistoksi. Maanmittauslaitoksen korkeusmallia käytetään vain penkereen ulkopuolella, joten luiskan alareunan murtoviivaa voitaisiin käyttää aineiston rajausviivana. Reunaviivaa ei kuitenkaan mitattu kaikkialta penkereen ympäriltä, vaan ainoastaan katveisilta reunoilta. UAV-pistepilven reunaluiska ei ole kauttaaltaan luotettavaa tietoa katveiden takia, joten aineistosta halutaan vain penkereen ylätasanne. Ortokuva osoittautui rajaamisessa korvaamattomaksi avuksi. Ohjelmassa ei ole montaa menetelmää pinnan muotojen visualisoimiseksi, joten kolmiomallin muotoa tulkitaan pitkälti korkeuskäyrien avulla. Korkeuskäyrät päivittyvät reaaliaikaisesti ja niiden piirtotavassa on paljon säätövaraa. Yksistään ne jättävät kuitenkin paljon toivomisen varaa. Kuvassa 15 on kuvaruutukaappaus korkeuskäyrien käytöstä pinnan havainnointiin käytännössä. Alueella oli myös paljon suuria lohkaraita joiden kohdalla korkeuskäyrät muodostuvat sekaviksi. Penkereen reunalla oli lievästi porrastettuja kohtia joiden tulkinta ilman ortokuvaa olisi lähes arvaamista.



Kuva 15. Pengermallin hahmottamista korkeuskäyrillä. Taustalla ortokuva.

Rajausviivoja piirtämällä valittiin pistepivistä vain penkereen ylätasanteen pisteet, jotka sitten kopioitiin uudelle yhdistelmäpinnalle. Rajausta laajennettiin luiskaan alueilla, joissa katveongelmia ei ollut eikä maastomittausta tehty. Maanmittauslaitoksen aineistolle tehtiin sama operaatio luiskän helman ulkopuolella. Ohjelmassa ei ole toimintoa alueen ulkopuolisten kohteiden valitsemiseen, joten aineistosta tehtiin välikopio, josta alueen sisäpuoliset pisteet poistettiin. Ohjelmaa ei selvästi ole lähtökohtaisesti suunniteltu näin suurille ja tiheille aineistoille, koska rajausten tekeminen oli odottamattoman vaikeaa. Tavallista aluevalintatyökalua oli vaikea käyttää näin laajan ja yksityiskohtaisen rajauksen tekemiseen. Valinnan sai kuitenkin tehtyä epäsuorasti piirtämällä reunat piirtotyökaluilla ja luomalla aluevalinnan piirtokohteista. Osa penkereen pään kolmioverkosta on esitetty kuvassa 16. UAV-kuvatun aineiston kolmiot ovat pienempiä kuin harvemman Maanmittauslaitoksen aineiston. Luiskän alareuna kulkee jatkuvan murtoviivan kautta maanpintaan.



***Kuva 16.** UAV-kartoituksen kolmioituminen luiskan alareunaviivan kautta Maanmittauslaitoksen pintamalliin*

7.4.5 Kartoituskuvan taittaminen

Lopullisesta pengermallista sai helposti piirrettyä korkeuskäyriä ja tallennettua ne DWG-formaatissa. Kolmioverkko on myös helppo tuoda ohjelmasta Inframodel-tiedostona muihin ohejelmiin. Toitaiseksi lopullisten kuvien taittaminen nähtiin järkevämmäksi AutoCAD-ohjelmalla kuin Tekla Civilin sisäisellä projektipiirtokohteet-sovelluksella. Tekla Civilissä on monipuoliset työkalut mallien visualisointiin, mutta muun grafiikan lisääminen samaa kuvaan on hyvin työlästä. Kuvan taittaminen kokonaan ohjelman sisällä tekisi päivityskuvien luomisen helpoksi, jos tarvetta niille olisi odotettavissa. Silti vähintään nimiön lisääminen ohjelman ulkopuolella vaikuttaa paljon helpommalle kuin Tekla Civilin työkaluilla.

7.5 Yhteenveto

Ylijäämämaapenkereestä tehtiin malli käyttäen UAV-ilmakuvauksella luotua pistepilveä, avoimesta aineistosta saatua laserkeilattua pistepilveä ja GPS-pistemittauksia. Jäljessä on listattu tärkeimmät havainnot.

- Pistepilvi täytyy välttämättä muodostaa ulkoisessa ohjelmassa raakadatasta
- Pistepilvien käyttö visualisointiin on ohjelmassa hyvin rajoittunutta
- Aineiston tuominen muokattaviksi pintamalleiksi vaatii paljon valmistelua muissa ohjelmissa
- Nykyiset puutteet koordinaattimuutoksissa aiheuttavat paljon lisätyötä yksinkertaisiin työvaiheisiin
- Valintatyökalut eivät ole suunniteltu suurille ja tiheille aineistoille
- Ortokuva on hyvin hyödyllinen tuki suunnittelulle ja helppo käyttää
- Ohjelmaan toivoisi parempia työkaluja pinnan kaltevuuden mittaamiseen ja visualisointiin

Mallinnusta varten pistepilvet tuotiin ohjelmaan massiivisena määränä tavallisia hajapisteitä. Kokonaisten pistepilvien käyttömahdollisuudet referenssinä muokattavan aineiston sijaan osoittautuivat todella rajallisiksi. Muokkaukelvottomista pinnoista ei ole juuri hyötyä, kun aineistoa täytyy yhdistellä useista lähteestä.

Kiinnostavasti UAV-ilmakuvaukseen perustuva pintamalli osoittautui jopa odotuksia laadukkaammaksi. Kun erikseen mitattu luiskan alareuna tuotiin samaan 3D-malliin, nähtiin murtoviivan koron eroavan pengermallista vain kaikkein varjostetuimmilta osin. Metsän eniten varjostamalla reunalla UAV-pinta oli pitkällä matkalla systemaattisesti 20-30 senttimetriä korkeammalla kuin todellinen luiskan alareuna. Suurimmillaan korkovirhe oli yhdellä lyhyellä vyöhykkeellä metrin. Maanmittauslaitoksen pintamalliaineiston laatu yllätti vielä enemmän. Mitattu luiskan alareuna yhtyi Maanmittauslaitoksen pintamallin korkoon lähes täydellisesti.

Toisin kuin esimerkiksi sisarohjelma Tekla Structuressa, Tekla Civilin perusnäkyvä on tiukasti tasokarttamainen yläprojektio. Näkymän kääntelystä olisi ollut valtavasti hyötyä pinnanmuotojen tulkintaan mallinnuksen aikana. Pintoja voi visualisoida erilliseen 3D-ikkunaan, mutta tästä on rajallisesti apua, kun suunnittelija ei tiedä missä kohtaa 3D-mallia on juuri työskentelemässä. Ohjelmaan toivoisi paljon parempia työkaluja pinnan korkeuden ja muotojen reaaliaikaiseen visualisointiin, varsinkin kun ainoa työskentelynäkyvä on karttanäkymä. Etenkin pinnan kaltevuuden mittaamiseen yhdessä pisteessä ei vaikuta olevan mitään menetelmää. Kaltevuutta on jopa vaikea laskea, koska vaaka- ja pystyettäisyyden mittaaminen samaan aikaan on työlästä. Pintoja päädytään yleensä visualisoimaan korkeuskäyrillä, mitkä ohjelma onneksi piirtää hyvin.

Sama penkereen malli oltaisiin aiemmin luotu 3D-Win-ohjelmalla muiden ohjelmien avustuksella, joten on oleellista vertailla miten menetelmät eroavat. Aineiston hallinta Tekla Civilissä on valtavasti selkeämpää ja johdonmukaisempaa kuin 3D-Winillä mallinnettaessa, mutta osittain tämä johtui tarpeesta jalostaa mittausaineisto riittävän pitkälle ennen ohjelmaan tuomista. Usein tämä jalostaminen tehtiinkin nimenomaan 3D-Winillä. Tämän toimeksiannon kohdalla työn kesto olisi ollut molemmalla järjestelmällä suunnilleen sama ilman vajavuuksia Teklan koordinaattimuunnoksissa. Kaikki jatkotyöskentely Tekla Civilin tehdyn projektin pohjalta olisi kiistatta helpompaa.

8. YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin tietomallinnuksen hyödyntämistä pohjarakennuskonsultin näkökulmasta. Prosessille keskeistä on maastomittausaineiston hyödyntäminen suunnittelussa ja laskennassa. Työssä tutustuttiin ensin mallintamisen teoreettisiin vaatimuksiin. Tämän jälkeen tehtiin tapaustutkimus kolmesta toimeksiannosta, jotka edustavat tavallisia mittaus- ja suunnittelutoimeksiantoja. Toimeksiannot käsittelivät maaperämallien luontia pohjatutkimusaineistosta, maastomallien luontia maastokartoitusaineistosta ja pistepilvien hyödyntämistä suunnittelussa.

Kuten konsulttitoiminnalle on tyypillistä, kaikissa casetapauksissa tehtiin osasuunnittelua ilman tietomallimuotoisia lähtötietoja. Osasuunnittelussa itsessään ei juuri saavutettu tehoetua vanhoihin menetelmiin verrattuna. Mittausaineiston jalostaminen tietomallimuotoon vaati paljon työtä. Tilanne olisi täysin eri jos lähtötietoja olisi saatavilla sopivassa muodossa. Vaikka osamallit tuotetaankin yleensä yrityksen omista lähtötiedoista, sisältyy projekteihin usein paljon sellaista lähtötietoa joka voisi hyvin olla valmiiksi tietomallimuodoissa. Tietenkin Taratest Oy lähtötietojen tuottajana pystyy tarjoamaan tietomallimuotoisia lähtötietoja asiakkailleen ja muille suunnitteluosapuolille. Kysynnän oikeiden luodulle lähtöaineistolle ja malleille odottaisi kasvavan kun tietomallipohjainen suunnittelu yleistyy.

Mallista on varmasti selvää hyötyä jos suunniteltuihin kohteisiin tehdään jatkosuunnittelua. Projektin tiedot pysyvät hyvin tietokannassa, ja vanhasta projektista on helppoa saada uudestaan kiinni jos se on dokumentoitu hyvin. Tietomalliselostuksessa täytyy olla nimettynä käytetyt pinnat ja eriteltynä kaikki mallin osamallit. Jatkuva tietomallien käyttö osasuunnittelussa vaatii uusien käytäntöjen luontia ja vanhojen muuttamista. Maastomittajille kannattaisi ohjeistaa miten havainnot kirjataan mittalaitteilla muotoon joka on mahdollisimman helppo tuoda tietomalliin. Raskaan oppimisjakson jälkeen mallipohjainen suunnittelu ei vaikuttaisi olevan sen hitaampaa kuin vanhat menetelmät. Pakollinen lähtötietojen harmonisointi malliin tuomiseksi myös ohjaa suunnittelua kohti selkeämpiä ja parempia käytäntöjä. Mittausaineiston käsittely riippuu edelleen vahvasti muista sovelluksista. Tekla Civilissä oli paljon kapasiteettia erilaisten aineistojen tulkitsemiseen, mutta ei silti läheskään tarpeeksi.

Maanpinnasta saadaan luotua hyvin tarkkoja ja käytännöllisiä pintamalleja monenlaisesta aineistosta. Maaperämalli on tarkkuudessaan vastakkaista ääripäätä, vaikka maastomalli ja maaperämalli usein sisällytetään samaan yhdistelmämalliin.

Maaperämalli perustuu hyvin pieneen määrään havaintoja ja mallinnusprosessi hukkaa tietoa entisestään. Maaperämallin luonti perustuu myös maastomallia enemmän mallintajan tulkintoihin. Maaperämallin käyttäjien kannattaa tuntea malleihin sisältyvät rajoitteet hyvin. Suunnittelija tarvitsee myös alkuperäiset kairaustiedot käyttöönsä vaikka mallia saataisiinkin käytettyä hyödyksi.

Jatkotoimenpidesuosituks

Täysin tietomallipohjaiseen suunnitteluun siirtyminen vaatii mukautumista kaikilta osapuolilta. Maastomittajilla tulisi olla kunnollinen perehdytys mittalaitteiden oikeaoppiseen käyttöön ja tulosten sähköiseen kirjaamiseen. Suuri osa lähtötietojen mallintamiseen käytetystä ajasta kuluu mittausaineistolle tehtäviin muutoksiin ja korjauksiin. Perinteisillä menetelmillä riitti että suunnittelija ymmärsi mitä aineiston on tarkoitus kuvata, mutta mallinnusprosessissa kaiken tiedon on oltava johdonmukaisesti formatoitu algoritmien tulkittavaksi. Laadukkaan raaka-aineiston tuominen tietomalliin voi olla hyvin nopea prosessi.

Maastokartoituksessa tulisi noudattaa mahdollisimman tarkkaan Liikenneviraston ohjeistuksen mukaista Geonic-tiedoston formatointia ja kohteiden nimeämistä. Erityistä huomiota pitäisi kiinnittää mittauskohteiden numerointiin pistemäisistä kohteista viivamaisiin kohteisiin siirryttäessä. Näin ohjelmistot ymmärtävät piirtokohteiden geometrian oikein 3D-mallin muodostuksessa ja käsityötä tarvitaan vähemmän. Maanpinnan korkeus tontin ja rakennusten rajoilla kolmioituisi malleihin paremmin jos mittaus tehtäisiin murtoviivamittauksena hajapisteiden sijaan. Murtoviiva estäisi kolmiointialgoritmia aiheuttamasta muutoksia pinnan muotoon. Vaikka kaikkia rakennuksia ei mitattaisi ympäri murtoviivana, kannattaisi maanpinta kuitenkin mitata aina myös rakennuksen nurkissa.

Laadukas ortokuva on valtava suunnitteluapu vaadittavaan työmäärään verrattuna. Ortokuva syntyy ilmakuvauiskohteissa lähes sivutuotteena, eikä sen lisääminen Tekla Civil –tietomalliin vie kuin sekunteja. Ortokuvat kannattaisi luoda rutiinilla jokaisen lennon jälkeen. Varsinaisten pistepilvien käyttö mallissa on vielä rajoittunutta. Maanpintamallin muodostaminen harvennetusta pistepilviaineistosta on ainoa käyttökohde missä pistepilvistä on heti selvää hyötyä. Pistepilvet pitäisi opetella jalostamaan oikeaan muotoon jo muodostuksen yhteydessä.

Koska inframallintamiseen ei ole vielä vakiintuneita käytäntöjä, suunnittelun pitäisi perustua tarkkaan sisäiseen ohjeistukseen. Jonkin verran ohjeistusta kirjoitettiinkin tämän opinnäytetyön ohessa, mutta ohjeistuksen pitäisi olla kattavampaa ja elää prosessien kehittyessä. Ilman keskitettyä ohjeistusta olisi suorastaan ihme jos kaikki mallintajat mallintaisivat saman logiikan mukaisesti ja ymmärtäisivät toistensa malleja. Tietomalliselostuksia pitäisi alkaa kirjoittaa siltä pohjalta että muut saman toimiston suunnittelijat löytävät malleista kaiken tiedon niiden avulla. Askel siitä syvällisempien

tietomalliselostusten laatimiseen on pieni. Ohjelmistoissa on korkea oppimiskynnys, joten siirtymävaiheessa uusien menetelmien oppimiseen pitää varata riittävästi aikaa.

Kaikkiin ohjelmistoihin sisältyy vielä erinäisiä toiminnallisia rajoitteita. Kaikki mahdollinen lähtötieto kannattaa sisällyttää malliin, mutta uusien rakenteiden suunnittelu on vielä vaikeampi kysymys. Vanhoista ohjelmista ei päästä täysin eroon pitkään aikaan, joten voi olla järkevää tasapainoilla sen välillä missä ohjelmassa mikäkin prosessi on tehokkainta. Tarpeellisen työkalun puute voi tehdä juuri tietynlaisesta suunnittelusta kohtuuttomasti tarpeellista vaikeampaa. Joidenkin rakenteiden suunnittelussa kannattaa miettiä onko järkevämpää muodostaa pinta toisessa ohjelmassa ja tuoda se valmiina tietomalliin. Esimerkiksi pinnantasauksen suunnittelu on vaikeaa ilman kunnollista työkalua pinnan kaltevuuden mittaamiseen. Tilanne voi muuttua nopeasti jos ohjelmaan päivitetään uusia parempia työkaluja.

LÄHTEET

- [1] BuildingSMART Finland, Finnish Inframodel application documentation for LandXML v1.2. [Verkkoaineisto] [Viitattu 12.05.18] Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infra/inframodel/>
- [2] BuildingSMART Finland, InfraBIM-nimikkeistö 1.7, 2015. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/infrabim-nimikkeisto/>
- [3] BuildingSMART Finland, InfraBIM-sanasto 0.7, 2014. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/infrabim-sanasto/>
- [4] BuildingSMART Finland, Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015, 2015. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>
- [5] T. Helin, Inframallipohjainen koneohjaus laadunvarmistuksen työkaluna, opinnäytetyö, Saimaan ammattikorkeakoulu, 2015, 41 s. + liitt. 1 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015060412381>
- [6] T. Kivinen, Tietomallit ja koneohjaus kuntatekniikan rakentamisessa, opinnäytetyö, Aalto-yliopisto, 2016, 98 s. + liitt. 7 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201605262235>
- [7] LandXML.org Industry Consortium, <http://landxml.org>, 2018. [Verkkoaineisto] [Viitattu 30.05.18] Saatavissa: <http://landxml.org>
- [8] Liikennevirasto, Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot, Mittausohje, 2017. [Verkkodokumentti] Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf
- [9] Maanmittauslaitos, Korkeusmallit [Verkkoaineisto] [Haettu 22.05.2018] Saatavissa: <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/korkeusmallit>
- [10] Palviainen, Kuusela, Hokkanen, Vesanen, Mallinnusohje 3D-Win Xsite Pro v.1.2, 2017. [Verkkodokumentti] Saatavissa: http://novatron.fi/wp-content/uploads/2018/03/Mallinnusohje_3D-Win-XsitePro_v1.2.pdf
- [11] J. Pekkala, 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmentaminen, opinnäytetyö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2015, 84 s. + liitt. 4s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201509241607>

- [12] Rakennustieto Oy, RT 10-10992, Tietomallinnettava rakennushanke, 2010, 13 s.
- [13] Suomen Geoteknillinen Yhdistys ry, Infra-pohjatutkimusformaatti versio 1.0, Espoo, 2004. [Verkkodokumentti] Saatavissa:
http://cic.vtt.fi/projects/inframodel/Documents/infraModel_2_2004-01-23_Infra_formaatti_v1.0.pdf
- [14] Suomen Geoteknillinen Yhdistys ry, Infra-pohjatutkimusformaatti versio 2.3, Espoo, 2015. [Verkkodokumentti] Saatavissa:
http://www.citygeomodel.fi/Infra_formaatti_v2.3_211215.pdf
- [15] Trimble Inc., Financial Release Jul 13, 2011, California, 2011. Saatavissa:
<http://investor.trimble.com/static-files/e043f422-2c21-4101-a9be-6987965d2756>